

INFORMACION

La «Orygthología» de Juan José Elhúyar (1754-1796) y la «Oritognosia» de Andrés Manuel del Río (1764-1849), primeros tratados geológicos, escritos por españoles en América.

Por O. PUCHE RIART (*) y F. J. AYALA CARCEDO (**)

El significado de las aportaciones de J. J. ELHUYAR Y DE SUBICE (Logroño, 1754 - Bogotá, 1796) y A. M. DEL RÍO Y FERNANDEZ (Madrid, 1764 - México, 1849), ingenieros de minas-geólogos españoles, autores de los primeros tratados geológicos escritos por españoles en la España de su tiempo y descubridores del volframio (con Fausto de Elhúyar) y del eritronio o vanadio respectivamente, no puede ser comprendido sin un examen, siquiera sea somero, del grado de evolución al que habían llegado las Ciencias Geológicas en su época, tanto en el mundo como en España.

1. LA EVOLUCION DE LAS GRANDES IDEAS GEOLOGICAS EN EL MUNDO HASTA 1800

1.1. LA EVOLUCION DEL AMBIENTE SOCIOECONOMICO, TECNICO Y CIENTIFICO

El impulso fundamental que acabaría constituyendo la Civilización actual y su Cultura, proviene del Renacimiento en Europa, en los siglos XV y XVI, originado en Italia.

(*) Dr. Ingeniero de Minas (Ingeniería Geológica). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

(**) Dr. Ingeniero de Minas (Ingeniería Geológica). Instituto Tecnológico Geominero de España.

Es en esta época cuando surgen los primeros Estados Nacionales de carácter monárquico que aglutinan a las unidades políticas menores del feudalismo y reorganizan social, política y económicamente a Europa. Portugal, España, Francia e Inglaterra irán constituyéndose de esta forma y proyectando su hegemonía sobre un mundo que se está descubriendo y que hacia 1750 está básicamente dominado por Europa. Aunque esto no significará la constitución de verdaderos mercados nacionales debido al carácter agrario y fuertemente autárquico de la mayor parte de la población, y a un sistema de transportes terrestres básicamente igual al de la baja Edad Media, que durará hasta la introducción del ferrocarril público en 1825, será un estímulo comercial e intelectual poderoso. La imprenta de Gutenberg de 1455, constituirá una formidable herramienta en la difusión del saber y la formación de comunidades intelectuales cada vez mayores, junto al latín, verdadera «lingua franca» en el mundo religioso y científico, como ahora sucede con el inglés. A partir del siglo XVII, con las revoluciones inglesa y de los Países Bajos, los ideales democráticos se irán incorporando al bagaje de valores de los Estados Nacionales y los pueblos europeos, facilitando la libertad de investigación y difusión de los conocimientos.

El siglo XVIII conoce un vasto movimiento de renovación y reactualización de los valores renacentistas que afecta a toda Europa y sus colonias americanas: la Ilustración,

JUAN JOSE ELHUYAR Y DE SUBICE (Logroño, 1754 - Bogotá, 1796), ingeniero de minas de Freiberg, probable autor de la *Orygthología*, primer tratado de Mineralogía español, realizado en Nueva Granada hacia principios de la década de los 90 en el XVIII, y descubridor con su hermano del volframio en 1783. Cortesía del Dr. Bernardo J. Gaycedo.



ANDRES MANUEL DEL RIO Y FERNANDEZ (Madrid, 1764 - México, 1849), ingeniero de minas de Almadén, Freiberg y Schmnitz, autor de la *Oritognosia*, primer tratado de Mineralogía español publicado, en 1796, en México, y descubridor del rionio o eritronio (hoy vanadio) en 1801. Secretaría de la E.T.S. de Ingenieros de Minas. Cortesía de J. M. López de Azcona.

que incorpora una novedad, la idea del Progreso. Los gobiernos ilustrados se convierten en impulsores de las «luces», especialmente entre las élites. El nuevo conocimiento técnico y científico, especialmente tras la Revolución Científica del XVIII, adquirido en base a la observación directa y la reflexión racional, irá modificando sustancialmente buena parte de la cultura europea, y convirtiéndose, especialmente a partir de la segunda mitad del XVIII y en estrecha alianza con el capital y el liberalismo económico, en el motor del progreso económico. Esta nueva forma, científica, de adquisición del conocimiento, irá orillando los criterios de autoridad en el campo del saber, y deslindando creencias y saberes, en un largo y complejo proceso, en la óptica baconiana de separación de hechos y valores. El desencadenamiento de la Primera Revolución Industrial en el Reino Unido en la segunda mitad del XVIII sobre las bases del carbón, el vapor y el textil, significará un movimiento global de cambio que está en los fundamentos inmediatos de nuestra Civilización Tecnológica.

En este contexto se irán construyendo las primeras disciplinas científicas: la Geometría Celeste en el XVI-XVII con Copérnico, Kepler, Tycho y Galileo; la Mecánica en el XVII con Galileo, Huygens, Hooke y Newton; la Matemática con Descartes, Newton y Leibniz en el XVII y Euler, Laplace, Taylor, Lagrange y Monge en el XVIII, todo ello tras el progreso del Álgebra y la Trigonometría en el Renacimiento. La Química se constituirá ya en la segunda mitad del XVIII, con Priestley, Lavoisier, Proust y Dalton.

Las Ciencias de la Naturaleza, se desarrollarán con aproximadamente un siglo de retraso respecto a la Mecánica o las Matemáticas, por la misma época que la Química, aunque las grandes teorías que den razón de la dinámica del mundo natural tardarán aún más: la Teoría de la Evolución orgánica, con Darwin y Wallace en 1859; la Tectónica Global de Placas, hacia 1965. Este retraso diferencial, guarda un paralelismo con el de las Ciencias Sociales y será analizado más adelante, una vez expuesta la evolución histórica de las grandes ideas geológicas.

1.2. LAS GEOGENESIS ANTES DE BUFFON Y LAS APORTACIONES CIENTÍFICAS ANTERIORES AL XVIII

Previamente al establecimiento de las Ciencias Geológicas como un «corpus» sistemático basado en la observación, lo cual comenzará a tener lugar con Werner y se establecerá de forma casi definitiva con Hutton, se elaboran diversas teorías geogenéticas en el siglo XVII y la primera mitad del XVIII.

Estas teorías incorporan en alguna medida observaciones para tratar de explicar los hechos, pero tienen una importante componente especulativa o incorporan generalmente elementos bíblicos literales.

DESCARTES (1596-1650) expone su geogénesis en «Princi-

pia Philosophiae», publicada en 1644. Supone que la Tierra es un astro enfriado en cuyo interior hay materia incandescente y que está organizado en diversas capas con-

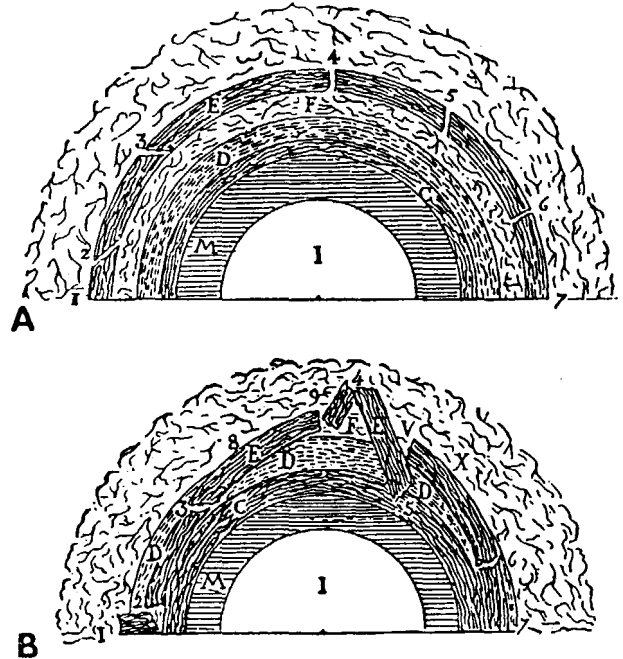


Figura 1.—Descartes (1596-1650) imaginó una Tierra con núcleo fundido (I) y capas intermedias: M (metálica), C (pesada), E (ligera), D-F (agua y aire), E (costra externa enfriada). B: Desplome de E sobre C.

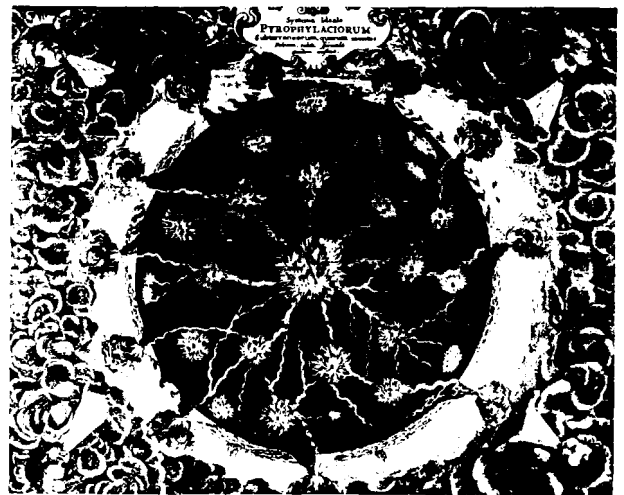


Figura 2.—El jesuita Kircher, en el XVII, imaginó una Tierra con depósitos de fuego interconectados (pyrofilacios), que serían los responsables de los volcanes).

céntricas. La exterior, se agrieta al enfriarse, y al desplomarse sobre el interior se originan las montañas y los océanos debido a la salida del agua de una de las capas interiores. La capa profunda es metálica y de ella salen los metales. Esta teoría, fundamentalmente especulativa, tiene el mérito de ser el primer intento sistemático de explicar la estructura interior de la Tierra.

El jesuita KIRCHER publicó en 1665 su «Mundus Subterraneus», una obra cuya influencia se dejó sentir casi durante cien años, y de la cual sería uno de sus propagandistas en el XVIII Torres de Villarroel, el «gran Piscator» salmantino. Según Kircher, en el interior de la Tierra existen depósitos de fuego (pyrofilacios) conectados entre sí y con un gran pyrofilacio central; estos pyrofilacios son los causantes de los volcanes. Además existen depósitos de agua (hydrofilacios) y de aire, aerofilacios. Es posible que sus ideas sobre el fuego central influyeran en algunos plutonistas. Según Kircher, los terremotos eran los causantes de las montañas. Kircher tenía una visión organicista de la Tierra (CAPEL, 1985), y hablaba del «útero del globo terrestre», de la «vis petrifica» y la «vis seminalis» fuerza creadora de minerales y seres vivos de carácter universal. Como puede verse, las ideas organicistas de la Tierra, de las cuales el principal exponente actual es la tesis de «Gaia» del inglés Lovelock, leiv-motif de muchos ecologistas, tienen precedentes antiguos.

BURNET, un clérigo inglés, publicaría en 1681 su «Telluris Theoria Sacra», en la que intenta ofrecer una exposición del pasado y el futuro de la Tierra de tal manera que se armonicen la revelación bíblica y la razón. Un ejemplo de ella es la conclusión de que la Tierra, antes del Diluvio Universal bíblico, tenía que ser plana, pues si no hubiera sido imposible que resultara cubierta por las aguas; esta idea no era original suya, sino que, tal y como expone CAPEL (1985), Antonio de Torquemada ya la había expuesto en 1570. Su teoría sobre la estructura de la Tierra, influida por Kircher y quizá Descartes, contiene también un núcleo ígneo y más pesado que la costra superficial. El intento de Burnet de conciliar razón y creencia, tuvo bastante difusión, pero fue criticado por parte de la Iglesia Anglicana.

Aunque hasta finales del XIX, con LANDERER en Centroeuropa y ALMERA en España, por ejemplo, el intento de acordar las Ciencias Geológicas y el Génesis bíblico se realizará no pocas veces, el último gran intento geogenético y conciliador de razón y fe, previo a la eclosión de sistemas geológicos científicos en el último cuarto del XVIII, es considerado el del médico y matemático suizo SCHEUCHZER, J. J. (1672-1733), que publicó en 1721 su «Jobi Physica Sacra». Scheuchzer había observado los Alpes, y trata de integrar sus observaciones con la narración bíblica del Diluvio. Así, atribuye las montañas a la rotura y elevación de la costra externa tras el Diluvio, proceso para el que «las leyes mecánicas de la Naturaleza no bastaban aquí. Ha sido precisa una fuerza divina como en la primera creación de la Tierra».

Aunque estas teorías, vistas con un criterio anacrónico, pueden parecer hoy irrelevantes, contienen sin embargo elementos claramente positivos. Por una parte, introducen elementos de observación o racionales (núcleo más pesado p.e.), por otra parte, aceptan el cambio y la Historia de la Tierra. En definitiva, presentan una transición entre el relato bíblico y el conocimiento científico. Por ello, prepararon el terreno para una aceptación generalizada de estos hechos básicos en la segunda mitad del XVIII, que serviría para constituir una verdadera Geología Positiva.



Figura 3.—En el siglo XVII era corriente creer que el agua subterránea procedía del mar, como expone Kircher en esta ilustración.

En este sentido, la idea del Diluvio representaba un elemento de avance en torno al problema de los fósiles orgánicos. Aristóteles los había caracterizado como formas caprichosas de la Naturaleza; los diluvistas, no tendrían sin embargo inconveniente alguno en aceptar que eran restos de animales, eso sí, muertos y petrificados en el Diluvio.

Previamente a la formulación de estas geogénesis, hubo aportaciones aisladas de carácter claramente científico.

Debe citarse ante todo a LEONARDO DA VINCI (1452-1519), que realizó aportaciones científicas importantes, aunque no llegaron a publicarse. Como ha expuesto el profesor Bermudo Meléndez «Demuestra la falsedad de las doctrinas entonces en boga, según las cuales, las conchas que aparecen en las rocas de las montañas, habían sido llevadas allí por las aguas del diluvio, advirtiendo acertadamente,

actual en «primarios» (pizarras y cuarcitas entre otros), «secundarios» (calizas, areniscas y margas fosilíferas), «terciarios» (calizas, areniscas, yesos y arcillas) y «cuaternarios» (aluviones).

1.3. LA EVOLUCION DE LA GEOLOGIA POSITIVA DESDE BUFFON HASTA 1800

Metodológicamente, BUFFON (1707-1781) representa claramente un punto de vista científico con su insistencia en centrarse en los «hechos y la observación» y dejar de lado el resto de los aspectos externos. Su geogénesis, como también sucederá con Werner, contiene sin embargo dosis nada despreciables de especulación, aunque al margen de la narración bíblica del Génesis. En su «Histoire Naturelle» de 1749-1788, probablemente el libro más leído en este campo en el XVIII, expone un origen del Sistema Solar debido al choque de un cometa con el Sol. Más adelante, en 1778, en su «Epoques de la Nature», distingue siete épocas en la Historia de la Tierra. Pensaba que la Tierra estuvo cubierta enteramente por agua como parecían demostrar los fósiles marinos de las montañas; éstas, se habían formado en el proceso de enfriamiento del globo fundido, con la corteza. El volcanismo, derivaría de la combustión de «azufre y betún», y los terremotos de explosiones de gases en cavidades subterráneas. Buffon fue el primero en experimentar con objeto de probar hipótesis o hallar nuevos conocimientos. Calentó esferas de diversos tamaños con objeto de evaluar la edad del planeta de acuerdo con el ritmo de enfriamiento, enfriamiento cuya prueba más palpable serían los glaciares alpinos; llegó así a la conclusión de que el planeta tenía 132.000 años y 25.000 desde la condensación del agua, edad de la que tuvo que retractarse por la presión de la Facultad de Teología de la Sorbona en 1780. Así mismo, a través de experiencias con un horno de reverbero, generó silicatos nuevos por fusión a partir de argilitas.

La evolución científica de la Geología durante 50 años, desde 1775 a 1825, estuvo presidida por el debate entre *nep-tunistas* de un lado y *vulcanistas* y *plutonistas* de otro. El origen de toda la polémica se situó en el agente causal de la formación de rocas, el agua en el caso de los nep-tunistas, el calor interno o los volcanes en el caso de los plutonistas y vulcanistas. LEIBNIZ, A. (1646-1716), en su «Petrogea» de 1680, ya había señalado en el XVII que las rocas podían ser originadas por procesos de sedimentación o de fusión. Cruzada en parte con esta polémica se desarrollará desde la última década del siglo y hasta casi mediados del XIX, otra entre *uniformistas* con HUTTON, J. (1726-1797) y LYELL, CH. (1797-1875) como figuras más prominentes y *catastrofistas* con DE LUC (1727-1817), CUVIER (1769-1832), ELIE DE BEAUMONT (1798-1874), BUCKLAND (1784-1856) y SEDGWICK y MURCHISON. La Geología como ciencia se estructuró en lo fundamental en torno a estas dos polémicas.



Figura 4.—Leonardo da Vinci (1452-1519), artista, ingeniero y científico renacentista, realizó algunas de las primeras reflexiones geológicas científicas.

que se trata de conchas marinas, que no han podido ser llevadas contra corriente por los ríos». Estudió el problema del origen de los fósiles orgánicos, concluyendo de forma acertada sobre él. Igualmente, demuestra que los valles han sido originados por los ríos, aportando como prueba que la estructura geológica es igual a ambos lados. Piensa sin embargo que la situación de las conchas fósiles en zonas altas es prueba del descenso del mar.

La obra de STENO (1638-1687), especialmente en su «Pro-dromus» de 1669, es fundamental porque sienta las bases de la Estratigrafía. Así, establece el carácter sedimentario de los estratos, su carácter de indicador ambiental continental o marino de acuerdo con los fósiles u otros detalles en ellos contenidos, el orden cronológico de formación y la disposición horizontal originaria. Además establece que «La disposición alterada de los estratos, es evidentemente, el origen de las montañas», por lo que de acuerdo con los principios que había establecido antes, concluye que las montañas son el producto de procesos internos que han cambiado la posición originalmente horizontal de los estratos.

Por último, ARDUINO, a fines del XVII, establece un primer intento de clasificación cronoestratigráfica dividiendo los terrenos de una forma relativamente parecida a la

En 1702 la Oficina de Minas de Freiberg decidió crear una caja de pensiones para becar en el estudio de las ciencias mineras a jóvenes del lugar. El Profesor más conocido de estas dependencias fue HENCKEL, J. F., autor de una obra titulada «Kies Historie», en la que se describen numerosos minerales. Su fama atrajo hacia Freiberg a diversos estudiosos extranjeros, tal es el caso del mineralogista ruso LOMONOSOV, W. I. (1711-1765).

El 14 de noviembre de 1766 se regularizan estas enseñanzas con la organización de la Academia de Minas de Freiberg, gracias a la labor de ZIMMERMAN, C. F., HEYNITZ, F. A., y VON OPPEL, F. W. En el plan de estudios inicial ya se impartía la asignatura de Mineralogía. En 1775 WERNER, A. G. (1749-1807) sería contratado para dar lecciones de dicha materia.

WERNER, A. G. (Lushcia, 1749-Desden, 1817), ingeniero de minas-geólogo, fue desde 1775 profesor de la Academia de Minas de Freiberg, constituyéndose a su alrededor lo que podría considerarse la primera «escuela geológica» de carácter internacional. Elaboró una geogenia en la cual, a partir de un océano primordial, la Panthalasa, por sedimentación sucesiva derivaban los cuatro grandes tipos de terrenos (en parte identificados por LEHMAN y FÜCHSEL): el Primitivo (con granitos y gneis), de Transición (atribuido hoy al Paleozoico superior), Flötz (con diversas subdivisiones que irían desde el Permiano al Terciario inclusive), y los de Acarreo. Los materiales volcánicos y pseudo-volcánicos fueron añadidos después, derivando de la combustión de carbón subterráneo.



Figura 5.—La constitución de las primeras Escuelas de Ingeniería de Minas europeas, en la segunda mitad del XVIII, fue un hito para la evolución de las ideas geológicas (Peithner, 1780).

WERNER pensaba que los basaltos y demás rocas se habían formado por deposición en el gran océano mundial. De esta forma se explicaba bien el origen de los fósiles, así como la presencia de los terrenos primitivos hacia la parte central de las cordilleras (zona donde se habían retirado antes las aguas).

Por derivar todos los materiales del agua, se conoció como teoría neptunista (del dios del mar Neptuno). La exposición de su sistema estratigráfico, fue realizada en su «Kurze Klassifikation», realizada en 1777 y publicada diez años después. Esta clasificación, elaborada en base a numerosas observaciones de campo, representó, tras el primer intento de Arduino a fines del XVII, y el del zoólogo alemán PALLAS, P. S. (1741-1811), el primer sistema cronoestratigráfico, que junto al reconocimiento del valor de los fósiles como criterio de correlación, fue una aportación fundamental. Igualmente, sistematizó en unas tablas que fueron ampliamente utilizadas, una clasificación de minerales y rocas. Werner, además, unificó en un todo coherente por primera vez, la Geognosia, los conocimientos geológicos. La voz «jheólogo» fue obra del cremonés Juanelo Turriano como ha demostrado el Doctor López de Azcona.

Werner, por otra parte, tenía una actitud estrictamente científica en sus planteamientos y discusiones. Por todo ello, puede ser considerado el fundador de la Geología moderna. PEDRINACI y GARCIA (1992), han resaltado recientemente la importancia epistemológica de Werner.

La Geogenia werneriana, tuvo siempre, sin embargo, una gran laguna al dejar sin contestar la interrogante del destino del agua del océano primordial. Además sus tesis sobre la generación de montañas eran muy débiles, suponiendo que los estratos inclinados correspondían a sedimentación de borde; la Tierra era fundamentalmente inactiva. Por otra parte, topó con un grave problema en torno al origen del basalto, intentando encontrar una relación entre la distribución del carbón y el basalto, que se derivaría de combustión de las capas de carbón, teoría que había propuesto el francés GUETTARD, J. E. (1715-1786) para la génesis de los volcanes.

El joven médico GUETTARD, que bajo la influencia de los JUSSIE había llegado a ser el conservador del Gabinete de Historia Natural del Duque Luis de Orleáns, recorre en 1752 la zona de la Auvernia, comprobando que los materiales pétreos de la cadena de los «puys» tienen un origen volcánico.

DESMAREST (1725-1815), inspector general de manufacturas francés y apasionado por los temas geológicos, como reacción a la teoría de Guettard, en 1774 expuso la teoría de que el basalto derivaba de un proceso de fusión, basándose en sus observaciones en Auvernia, creando así la escuela vulcanista.

DOLOMIEU (1750-1801), profesor de la Escuela de Minas de París, aristócrata partidario de la Revolución de 1789

y descubridor de la dolomita, propuso en 1789 que el foco de calor, de acuerdo con sus observaciones, era inferior al granito, que estaba por encima del origen del basalto, con lo cual el granito perdía su carácter de roca primordial. Desmarest, sin embargo, siempre pensó que el granito era sedimentario. En Italia, con sus espectaculares manifestaciones volcánicas, BREISLAK y MORO pensaban que los volcanes podían levantar los estratos.



Figura 6.—Werner (1749-1817), ingeniero de minas-geólogo alemán, profesor de la Escuela de Minas de Freiberg, dio un gran impulso a la Geología científica.

El neptunismo fue progresivamente abandonado por los principales discípulos de Werner, los ingenieros de minas-geólogos de Freiberg D'AUBUISSON, HUMBOLDT y VON BUCH, que al ampliar el ámbito geográfico de sus observaciones y observar hechos que contradecían la teoría, fueron adoptando posturas plutonistas sobre el origen del basalto y el granito. Hacia 1820, estaba ya abandonado por la mayor parte de los científicos; las clasificaciones estratigráficas y mineralógicas, se siguieron empleando casi hasta 1850, p.e., en España.

Las dos teorías antagónicas se concilian definitivamente en la obra del médico escocés HUTTON, J. (1726-1797). Esto puede apreciarse en un trabajo que dicho autor presentó a la Royal Society de Edimburgo, bajo el título «Theory of the Earth» (1785), donde se definen dos posibles orígenes de las rocas: sedimentos marinos procedentes de la erosión de los continentes y de la acumulación de los restos orgánicos, y materiales resultantes del volcanismo, así como del calor interno de la Tierra. Estas ideas fueron duramente criticadas por la sociedad cientí-

fica de la época, muy influenciada por el neptunismo, que, aunque no recurriera a ellas, era más acorde con las tesis diluvistas de la Biblia.

En esta obra, aun con elementos especulativos y finalistas, se exponían aportaciones fundamentales fruto de la observación y la reflexión. Demuestra que el granito no había sido fruto de la fusión de sedimentos preexistentes, sino que tenía carácter intrusivo en una serie de afloramientos. Granito y basalto, tenían un origen ígneo, debido al calor interno de la Tierra. Por ello él y sus seguidores, fueron llamados plutonistas. El calor interior era también el responsable de los levantamientos del fondo del mar que habían dejado depósitos de conchas marinas en las montañas. A su vez, éstas eran erosionadas y depositados los sedimentos en el mar que volvía otra vez a elevarse en un nuevo ciclo. Esta obra, fue aumentada notablemente en 1795, para responder a los ataques de KIRWAN, presidente de la Royal Society irlandesa, que la criticaba por su ignorancia de la cronología bíblica. Hutton, que sentaba en 1788 el actualismo («la suposición de que la labor de la naturaleza es uniforme y constante»), concluía diciendo que «El resultado, por lo tanto, de nuestra investigación actual es que no encontramos huellas de un principio, ni perspectivas de un final». Con esa conclusión, Hutton abría las puertas a un concepto y una dimensión modernos del tiempo geológico, básico para el desarrollo de la Geología y de la Teoría de la Evolución Biológica, ya que los cálculos deducidos de la lectura literal de la Biblia, fijaban la edad del mundo en no más de 8.000 años (5.920 según la versión de la Vulgata y 7.370 según la de los Setenta, casi un millón de veces menos que la edad real de la Tierra). Esta auténtica revolución en la dimensión temporal es tan importante como la espacial producida por los Descubrimientos y la Astronomía. La obra de Hutton, fue sin embargo poco leída, y sus conclusiones no se divulgarían ampliamente hasta que PLAYFAIR, matemático amigo de Hutton, editara su obra didáctica «Illustrations of the Huttonian Theory» en 1802. El grueso de la polémica actualismo-catastrofismo se desarrolló ya en el XIX.

Como puede observarse por lo expuesto más arriba, la Tectónica de todas las teorías era sumamente pobre. En este terreno, el suizo SAUSSURE (1740-1799), tras un extenso trabajo de campo en los Alpes, que se concretó en sus cuatro volúmenes de «Voyages dans les Alpes» publicados entre 1779 y 1796, estableció que los plegamientos derivaban de la acción de fuerzas de compresión horizontales, abriendo así el camino a unas ideas tectónicas más correctas. Ya LEIBNIZ había avanzado la idea de las fuerzas de compresión producidas durante el enfriamiento del planeta como causantes de la formación de montañas, por lo que puede ser considerado el primer contraccionista, una teoría tectónica que dominaría toda la segunda mitad del XIX, con SUESS como principal portavoz.

El mérito de haber desarrollado los primeros la *cartografía geológica* corresponde a los franceses. El Ministerio de Minas patrocinó en 1766 un proyecto para realizar toda

The computación of the ages of the world.

The ages of the world after the computation of	The Bible and Hebrews be. 7.	1	The creation of the world	To the deluge.	1656
		2	The deluge	To Abam.	292
		3	Abam's nation	To the departure of Egypt	503
		4	The departure of Egypt	To the temple building	481
		5	Building the temple.	To the captivity of Babil.	414
		6	The captivity of Babil.	To Christ.	614
		7	Christ	To his pere.	1560
		fr 8			
		1	The creation of the world	To the deluge.	2242
		2	The deluge	To Abam.	942
Eusebius and the Latin etc. 6		3	Abam's birth	To David.	941
		4	David	To the captivity of Babil.	485
		5	The captivity of Babil.	To Christ.	589
		6	Christ	To his pere.	1560
The summe of the ages of the world after the computation of	The Hebrews		5521.		
			5047.		
			6737.		
			6391.		
	Eusebius		8522.		
	Augustine				
	Alphonsus.				

FINIS.

Figura 7.—Cálculo de la «Edad del Mundo» de acuerdo con la cronología bíblica (Cooper's Chronicle, 1560).

Francia en 214 hojas, en el que estuvieron trabajando GUETTARD y LAVOISIER once años, realizando 16 hojas y dejando hechas en parte otras doce. Retomado el proyecto por MONNET, Inspector General de Minas, terminará publicando en 1780 un Atlas con 31 mapas.

1.4. IDEAS SOBRE EL ORIGEN DE LOS MINERALES

Durante el Renacimiento, en la zona de los Montes Metálicos, donde se sitúa Freiberg, el médico y minero G. BAUER, latinizado «Agrícola» (1494-1555) estudia las mineralizaciones existentes teniendo en mente su utilidad. Dicho autor estableció una serie de hipótesis sobre el origen de los filones, desechando las ideas en boga sobre el influjo de los astros. Las vetas se formarían debido a la circulación de las aguas subterráneas y a licores particulares. En definitiva se intuía la idea de la precipitación de sustancias contenidas en disolución.

Algo más tarde, el pensador francés DESCARTES (1596-1650) suponía que los minerales se formaban gracias al calor existente en el interior del globo terráqueo. Poste-

riormente, el autor de la teoría del «phlogistom» BECHER, J. J. (1635-1682) señala que los criaderos se formaron por sublimación de vapores metálicos que ascendían desde el centro de la tierra.

De igual forma, LOMONOSOV, W. I. publicó un trabajo donde indicaba que los minerales se formaban como consecuencia de los terremotos, mecanismos liberadores de las energías internas. Estas últimas ideas recuerdan un poco la obra de FEIJOO, B. J. (1676-17...) *Teatro Crítico Universal*, tomo IV (1733), donde señala a los terremotos como responsables del ascenso de los vapores lapidíficos (según terminología de KIRCHER, A.), los cuales eran responsables de la petrificación de los fósiles.

Asimismo, según nos indica DEL RIO, A. M., en el *Discurso sobre las vetas*, pronunciado en el Real Seminario de la Minería de México, en 1802, ZIMMERMAN pensaba que las partes terrestres de las rocas se transformaban en menas metálicas y que OPPEL tuvo la paternidad sobre las ideas de la influencia de las formaciones húmedas en el origen de los filones, en donde entraban en juego las zonas fisurales creadas en las zonas de asentamientos de las montañas. Estas últimas teorías fueron recogidas por WERNER, tal y como podemos comprobar en la *Nouvelle théorie de la formation des filons*, traducida al francés por DABUISON, en 1802. WERNER sostenía la influencia química en estos procesos, al considerar que los minerales de las vetas, el mostrarse frecuentemente cristalizados, tendrían su origen en la precipitación de disoluciones, indicando también que la precipitación que formó la roca y la del filón no se depositaron al mismo tiempo.

Esta falta de consenso en cuanto a la definición de los



Figura 8.—Agrícola (1494-1555), médico e ingeniero de minas alemán, autor del *De Re Metallica* en 1556, realizó notables aportaciones a la Mineralogía descriptiva.

modelos metalogenéticos persistiría hasta el siglo XIX. Dicha situación se aprecia en la obra del irlandés BOWLES, G. (1714-1780), el cual *había sido llamado* por el Ministro ULLOA, A. (1716-1795) *para organizar el Gabinete de Historia Natural* y dependencias anexas. Este autor indica en *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España* (1775) que: «Cuando el mineral puro penetra en las peñas, y está íntimamente mezclado con ellas, que es como se advierte en la mayor parte de las minas de España, se puede conjeturar que la materia metálica y la peña han permanecido así desde el principio del mundo, o que el mineral y la piedra se hallaron en estado de disolución antes de endurecerse, o bien que el peñasco ha mudado, produciéndose en él la mina por un trabajo interno y largo de la Naturaleza».

1.5. ESTADO DE LA MINERALOGÍA DESCRIPTIVA A FINALES DEL SIGLO XVIII: NACIMIENTO DE LA ORITOGNOSIA

Por aquellas fechas la Mineralogía se entendía, en un sentido amplio, como la ciencia relativa a los conocimientos del reino mineral, englobándose en ella a: la Geología, la Paleontología y la Mineralogía propiamente dicha.

WERNER, al inicio de su labor docente en Freiberg, consideró por un lado la Mineralogía, bajo la denominación de Oritognosia, y por otro la Geología, bajo el nombre de Geognosia, en la cual se ubicaría la Paleontología (hasta que CUVIER la señaló como materia autónoma).

Oritognosia es una voz griega compuesta de «orukos», que significa excavado, y «gnosis», conocimiento. Para WERNER, dado los precarios avances de la Cristalografía y de la Mineralogía Determinativa, no era otra cosa que una Mineralogía Descriptiva, en su sentido clásico. La definición que da este autor es: «La parte de la Mineralogía que comprende la doctrina de las relaciones y propiedades sensibles de los minerales mecánicamente simples». De igual forma, la Geognosia trata y define lo relativo a la estructura y situación de las grandes porciones de la corteza (Geología Descriptiva).

Pese a todo, durante un cierto tiempo, ambas materias se consideraron como parte de la Mineralogía. Por ejemplo en la *Oritognosia* de WIDENMANN, J. F. G., traducida al castellano por HERRGEN, C., en 1797, se señala que la Mineralogía se divide en: Oritognosia (conocimiento de los fósiles), Química Mineralógica (análisis y recomposición de las partes constitutivas de los fósiles), Geognosia (conocimiento de las montañas), Geografía Mineralógica (ubicación y modo en que se encuentran los fósiles), y Mineralogía Económica (aplicaciones); no se considera a la Cristalografía.

Para DEL RIO (1795) la Oritognosia «es una ciencia experimental que enseña a conocer los fósiles por sus caracteres exteriores y a clasificarlos». En definitiva establece

A-6-20

NOUVELLE THÉORIE DE LA FORMATION DES FILONS.

APPLICATION de cette Théorie à l'Exploitation des Mines, particulièrement de celles de Freyberg ;

PAR A. G. WERNER,

Conseiller des Mines de Saxe, Professeur de Minéralogie, de l'Art de l'Exploitation des Mines, etc.

NOUVELLE ÉDITION;

TRADUITE de l'Allemand, revue et augmentée d'un grand nombre de notes, dont plusieurs ont été fournies par l'Auteur même :

PAR J. F. DAUBUISSON.

A PARIS,
Chez VILLIER, Libraire, rue des Mathurins,
n° 396.

AN XI. — 1802.



Figura 9.—Portada de la versión francesa de la obra de Werner *Nueva teoría de la formación de los filones*.

una definición algo más concisa que WERNER, aunque viene a decir lo mismo que su maestro.

Las primeras sistemáticas minerales se fundamentaban en el aspecto externo de las sustancias. Por ejemplo TEFRAS-TO DE EFESO (371-286 a. C.), en *De Lapidibus*, de acuerdo

con este criterio, consideraba la existencia de tres clases: piedras, tierras y metales.

El ordenamiento de TEOFRASIO fue mejorándose poco a poco. De esta forma el cordobés IBN SINA «AVICENA» (980-1037), en su *Tratado de las piedras*, establece una clasificación parecida: piedras y tierras, minerales combustibles o sulfurosos, sales y metales.

Esta idea persiste en el Renacimiento, así AGRICOLA considera la existencia de cinco clases minerales: tierras, sales, gemas, metales y otros minerales. Este autor realiza una profunda descripción de cada especie en base a sus distintas propiedades: color, brillo, densidad, olor, dureza, forma, exfoliación, solubilidad, fusibilidad y otras. También es el primer científico que separa a los minerales (sustancias homogéneas) de las rocas (agregados minerales).

En España las clasificaciones físico-morfológicas encuentran eco en la obra de Alvaro ALONSO BARBA y TOSCANO (1569-1662) *El Arte de los Metales* (1640), de gran influjo durante más de dos siglos.

En Europa de finales del siglo XVIII existían dos corrientes de pensamiento: los que pretendían la descripción del reino mineral en base a la observación de los caracteres externos y los que pensaban que la composición química de las sustancias debía ser la base de toda sistemática mineral.

Si hoy en día consideramos que la clasificación de los minerales está más cerca de la segunda teoría que de la primera, antiguamente no estaba tan claro. El progreso iniciado por la Química, desde que BOYLE, R. (1627-1697) publicase *El químico escéptico*, fue de gran importancia para la Mineralogía, pero la penetración de sus métodos e ideas sería bastante lenta.

La primera clasificación con un principio químico se la debemos a CRONSTEDT, A. (1702-1765), autor de *Forsok til. Mineralogie eller Mineral Rikets Upställning* (1758) y que fue traducida al castellano, en 1783, por un miembro de la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, probablemente por MUNIBE, R. M., aunque no se llegaría a publicar. En esta obra la división de los minerales se basa en el quimismo de las sustancias, sin embargo también se sigue el criterio descriptivo basado en las propiedades físico-morfológicas. Llama la atención cómo dicho autor presta mucha atención a los métodos de análisis por soplete.

Otro sueco, BERGMAN, T. D. (1735-1784), seguiría la labor de CRONSTEDT, A., organizando una nueva sistemática basada en la composición química y caracteres externos de los minerales, teniendo en cuenta su valor. Este autor considera las formas cristalinas como algo accidental y de escasa importancia en cuanto a la identificación del mineral. Entre sus obras en este campo cabe destacar el *Manuel du mineralogiste, sciagraphie du regne mineral d'après l'analyse chimique* (1772), traducida al francés por MONGEE en 1784. En *Meditations de la systematique fossi-*

lium natural propuso una clasificación de las familias según la calidad y cantidad de las materias primitivas, para lo cual elaboró una formulación sencilla, mediante las iniciales de las partes constitutivas, a fin de que se pudiese hacer una lectura rápida de la composición.

También hay que considerar la labor del químico irlandés KIRWAN, R. (1750-1812), el cual publica *Elements of Mineralogy*. Esta obra sería traducida, a partir de la versión alemana de CRELL, L., por JORDAN DE ASSO en 1784, creemos que sin llegar a publicarse. Asimismo es traducida a nuestra lengua, a partir de la versión inglesa de GIBELLIN, por CAMPUZANO, F., en 1789. Según MAFFEI, E., y RUA, R. (1871), dicho tratado «figura como la primera obra de Mineralogía que apareció en nuestro idioma. En la introducción el autor plantea la polémica existente entre las sistemáticas basadas en los caracteres físicos y las que se apoyan en la naturaleza química de los minerales, decantándose por la última. De todas formas su clasificación no sólo presenta una base química, sino que se apoya en el estudio de los caracteres exteriores, teniendo en cuenta la utilidad de las sustancias. Sostiene la clásica división en tierras y piedras, sales, sustancias inflamables y metales. En el apéndice final describe y recomienda el soplete, para análisis cualitativos de minerales.

También se suman a los defensores de las clasificaciones químicas el prestigioso abad HAÜY, R. J. (1801) y BERZELIUS, J. J. (1819), con la propuesta de una sistemática con base catiónica.

El lento avance de la Química hizo que muchos científicos permaneciesen dentro de la línea tradicional, acogiendo a clasificaciones basadas en los caracteres externos de los minerales. El botánico sueco LINNEO, C. (1707-1778) establece, en 1770, una sistemática físico-morfológica, señalando género y especie, igual que había hecho para el reino animal y vegetal.

En 1771, WERNER llega a Leipzig y pronto ingresa en la Sociedad de Historia Natural de esta ciudad. En dicho lugar conoció la obra del sueco GEHLER *De characteribus fossilium externis*, la cual le produjo gran influencia. Poco después, tratando de mejorarla, publica *Von der äusserlichen kennzeichen der fossilien* (1774). La calidad de este libro influyó en el hecho que WERNER fuera contratado como profesor de Mineralogía en la Escuela de Minas de Freiberg, en 1775.

WERNER defendía una sistemática físico-morfológica, aunque sin despreciar la composición química. Según QUADRA, R. DE LA (1803), este autor observa la parte constitutiva de los minerales en que influyen más su aspecto y propiedades colocándolos en el género a quien más es común su influencia. Para WERNER una cosa era situar un mineral dentro de una sistemática y otra era identificarlos. Según este autor: «los minerales deben clasificarse y las especies separarse basándose en su composición química». En definitiva lo que hacía es seguir la idea de

WALLERIUS, L., expresada en *De systematibus mineralogicis et systemate mineralogico rite condendo* (1768), donde se señala la necesidad de considerar tanto las propiedades físicas como las químicas en la descripción del mineral.

Una de las ideas fundamentales que sostenían los autores de sistemáticas físico-morfológicas era que si LINNEO y otros importantes naturalistas habían clasificado a los distintos componentes de los reinos animal y vegetal basándose en los caracteres externos, sin considerar las partes constitutivas, en el reino mineral no había por qué sostener otro criterio. A esto respondían los partidarios de las clasificaciones químicas que si se cogía una planta y se troceaba nadie podía asegurar que cualquiera de los fragmentos obtenidos correspondiese al vegetal elegido, en cambio trozos de minerales distintos pueden mostrar una combinación química semejante.

Según los defensores del sistema químico, con HAÜY, R. J., a la cabeza, no existía nada tan característico de una sustancia como su propia composición. Sin embargo, los partidarios de las clasificaciones físico-morfológicas, según recogemos de la obra de BRUNER, J. (1800), indicaban que el análisis químico encuentra a veces en distintos minerales partes constitutivas casi idénticas. Mientras que KARS-TEN, D. L. G. (en la 3.ª edición de sus conocidas tablas, 1800), señalaba que BRUNER metía en la misma familia minerales tan dispares como el estaño fibroso, la malaquita fibrosa, el antimonio rojo, el metal plumoso y las flores de cobalto. Algunos años después, en 1819, el descubrimiento del isomorfismo y del polimorfismo por MITSCHERLICH, E. (1794-1863) serviría de pauta a los defensores de las teorías basadas en las características exteriores.

De la controversia surgió una revisión del sistema químico. De esta forma BERZELIUS, J. J. (1779-1848), que en 1819 había propuesto una sistemática de tipo catiónico, propone una nueva clasificación de los minerales basada en la presencia de los grupos aniónicos, donde los silicatos aparecen como derivados del ácido silícico. Al mostrar los aniones una menor tendencia a la sustitución que los cationes, los distintos autores fueron considerando a los primeros como los elementos en los que se fundamentarían sus clasificaciones. Por citar algunos autores que trabajaron en esta línea tenemos a SOKOLOV (1831), DANA, J. D. (1837) o ROSE (1852).

El enfrentamiento entre los defensores de las clasificaciones químicas y las físico-morfológicas llevó a que algunos autores buscasen las conciliadoras posturas de síntesis. De esta forma surgieron intentos de correlación entre las propiedades y la composición de los minerales. Dentro de este contexto habría que señalar los trabajos de KUPFER (1826) y KENNGOTT (1825).

1.6. LA EVOLUCION DE LA CRISTALOGRAFIA HASTA 1800

Los condicionamientos fundamentales para la evolución de la Cristalografía hasta 1800, provienen sobre todo del insuficiente desarrollo de la Química, que sólo a partir de este año, con la publicación de Dalton, llega a adquirir un carácter de sistema científico. Otros condicionantes fueron también el escaso desarrollo de las técnicas instrumentales si se exceptúan los microscopios de Leewenhoek y Jansen y el goniómetro, y la falta de desarrollo de una Teoría Electromagnética, que sólo se desarrollaría en el XIX.

Las primeras informaciones documentales sobre la forma geométrica de los cristales, se encuentran en la monumental obra de S. ISIDORO DE HISPALIS (560-636), las *Etimologías*. En ella se hace notar la cristalización hexagonal del Cuarzo y la Esmeralda.

S. ALBERTO MAGNO (1193-1280), menciona el carácter octaédrico del Diamante en su *Natura Mineralium*.

La concepción atomística de la materia, propuesta originariamente por DEMOCRITO (470-360 a.n.e.), que sería resucitado en el siglo XVI por obra de G. BRUNO (1548-1600) y reformada y profundizada por GASSENDI (1592-1665), estará en la base de algunas de las concepciones cristalográficas del XVI y XVII.

Así, KEPLER (1571-1630) estudia el empaquetamiento de esferas para explicar la cristalización hexagonal de la nieve, descubriendo el empaquetamiento cúbico compacto y su relación con el hexagonal compacto.

HOOKE (1635-1705), contemporáneo de Newton y secretario de la Royal Society, amplía los estudios de Kepler sobre los empaquetamientos y muestra las diversas figuras que pueden generarse en su *Micrographia*.

HUYGENS (1629-1703), explica, con ayuda de su Teoría Ondulatoria de la Luz la doble refracción del espato de Islandia.

STENO, latinización de Stensen (1638-1686), médico danés que trabajó en Florencia, en *De Solidus intra Solidum Naturaliter Contento, Dissertationis Prodomus*, aparte de tratar otros aspectos geológicos, expone el descubrimiento de las inclusiones fluidas en los cristales, y la técnica de utilizar ejes de referencia para describir los cristales. Pero sobre todo, hace un descubrimiento fundamental: la constancia de los ángulos diedros de las caras cristalinas. GUGLIELMI en 1688, redescubrirá algunas de las principales aportaciones de Steno, un hecho aún relativamente frecuente en una época en que el saber científico y técnico no tenía medios de circulación general en Europa.

Casi cien años después, ROME L'ISLE, con un goniómetro inventado por su discípulo CARANGEOT, realiza múltiples medidas de los ángulos diedros, incluyendo la Ley de constancia de dichos ángulos en su *Cristallographie* de 1783.

El más importante cristalógrafo será el abate francés HAÜY (1743-1822), que publicará su *Essai d'une theorie sur l'estructure des cristaux* al año siguiente, 1784. Son varias las aportaciones de Haüy. En primer lugar enuncia la Ley de su nombre o de la racionalidad de los parámetros. Introduce, así mismo, el concepto de «forma primitiva», extraíble por exfoliación, desarrollando ideas de OLAF BERGMAN (1735-1784) que descubre que a partir del romboedro de calcita pueden explicarse todas las formas cristalinas de esta sustancia. También introduce de una forma sistemática la simetría y los ejes y establece seis «formas primitivas». Ya a comienzos del XIX, investigaría propiedades cristalográficas como la piro y piezoelectricidad de la turmalina, creando la Cristalofísica.

La primera vez que se empleó el término Cristalografía fue en 1723, tal y como puede apreciarse en la obra de CAPELLER *Prodromus crystallographie, de crystallis impropie sic dictis somentarum*. Posteriormente esta materia adquiere cuerpo de doctrina propio, independizándose de la Mineralogía.

En definitiva, hacia 1800 muchos de los elementos de la Cristalografía Geométrica habían sido descubiertos.

1.7. FACTORES CONDICIONANTES DE LA EVOLUCION DE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS EN EL MUNDO HASTA 1800

De lo expuesto, pueden sacarse algunas conclusiones sobre los factores condicionantes del desarrollo de las Ciencias Geológicas hasta 1800, que se produjeron con algo más de un siglo de retraso respecto a la Mecánica. Para ordenar los factores podemos clasificarlos en dos grandes grupos: externos e internos a la propia ciencia.

Dentro de los *factores externos*, tenemos en primer lugar que analizar la necesidad que del conocimiento geológico tenía el aparato productivo, y muy especialmente la Minería. Esta era fundamentalmente metálica, de carácter filoniano o placeres. La minería del carbón sólo comenzó a extraer tonelajes importantes en el Reino Unido a partir de 1750, gracias al vapor. En general, hasta esta época, gran parte de los yacimientos conocidos hacia siglos seguían explotándose, y los problemas de agotamiento eran pequeños en comparación con los que vendrían después debido al aumento rápido de los tonelajes producidos. Las necesidades mineras de conocimiento geológico, fueron con todo aumentando, y no es casual que la primera escuela geológica se creara en torno a las necesidades mineras en la Academia de Minas de Freiberg, o que los dos primeros tratados geológicos escritos por españoles, lo fueran por ingenieros geólogos en las colonias americanas y en torno bien a instituciones académicas como el Real Seminario de Minería de Nueva España para el caso de A. M. DEL RIO, o de la minería de Nueva Granada en el caso de J. J. DE ELHUYAR.



Figura 10.—Aspecto de los laboratorios de la Escuela de Minas de Freiberg, tomado de un tratado de Laboreo.

En cuanto a las posibilidades que los medios técnicos existentes ofrecían a la investigación geológica, había una doble limitación. De un lado la de las técnicas de muestreo, análisis y observación, muy limitadas. De otro, siendo necesaria la observación de muchos afloramientos en lugares distintos para formular hipótesis suficientemente válidas, debe constatar que el desarrollo de los medios y sistemas de transporte terrestre, permaneció hasta el ferrocarril público, en 1825, a un nivel no mucho más elevado que el medieval. Si WERNER hubiera visto Italia o Canarias como sus discípulos VON BUCH o HUMBOLDT quizá hubiera elaborado de otra forma sus teorías. El papel de los viajes largos no puede ser minimizado si se piensa en la importancia que tuvieron para LYELL o DARWIN. Este es un problema con el que no tuvieron que lidiar los fundadores de la Matemática, la Mecánica ni la Química.

Entre las condiciones limitantes externas, debe contarse también la influencia de la cosmogénesis bíblica. Esta influencia, que estuvo presente también en el desarrollo de la tesis heliocéntrica, retardó algo la Geología, pero no impidió su desarrollo al igual que el de la Geometría Celeste o la Mecánica. Su influencia limitante, presente tanto en el mundo católico como en el reformado, fue menor en éste. Probablemente la limitación mayor, pro-

venía del escaso tiempo, no más de 8.000 años, que daba al mundo; dada la lentitud de los procesos geológicos, el recurso a catástrofes como el Diluvio, era algo necesario para explicar formas o hechos como los fósiles marinos de las montañas o el propio relieve. Como hemos visto, sin embargo, el relato bíblico tenía elementos positivos en torno a los fósiles y a la admisión de una historia para la Tierra, frente al sistema aristotélico. Para la comprensión de la importancia que se daba al mantenimiento literal de la narración bíblica, ya desde un punto de vista social, debe pensarse, aparte del hecho de que la Iglesia era la principal organización junto al Estado, en que el cristianismo, en sociedades agrarias con pobres sistemas de transportes y comunicaciones y semiautárquicas, sin un verdadero mercado nacional, era el elemento central de cohesión social tras el idioma. Desde el punto de vista intelectual, por otra parte, la inexistencia de datos científicos no permitía más que una interpretación literal de la Biblia a los creyentes.

En cuanto a los *factores internos*, tenemos en primer lugar un gran factor limitante debido a la lentitud de los procesos geológicos, de forma similar a los procesos evolutivos del mundo orgánico, que junto a la idea de una Tierra con unos pocos miles de años, convertían la reflexión geológica en un acto de audacia y fe en el poder de la razón. Algo similar les sucedió a los astrónomos hasta el XIX con la idea existente de un pequeño Universo. Sin embargo, la visión constante del cambio del cielo, mucho más fácil que la de los procesos geológicos, fue un estímulo que favoreció el desarrollo científico a favor de la Geometría Celeste. Por otra parte, la experimentación era casi imposible, con lo cual la fuerza de los argumentos quedaba diluida. Igualmente, las posibilidades de observación, siquiera fuera indirecta, del interior de la Tierra, eran inexistentes. Añádase el retraso relativo de la Química o la inexistencia de la Química-Física por lo que hace a la Mineralogía y la Petrología, y el de la Biología por lo que hace a la Paleontología, y se tendrá un cuadro de serios obstáculos.

Todo esto se reflejó también en un proceso de institucionalización científica retrasado: sólo en el XIX se constituirán las primeras Sociedades Geológicas y los Institutos Geológicos y Geológico-Mineros. La Royal Society, dedicada sobre todo a problemas físicos, se había constituido en 1662, y la Academie des Sciences en 1666.

2. LA EVOLUCION DE LAS IDEAS GEOLOGICAS EN ESPAÑA HASTA 1800

2.1. LA EVOLUCION DEL AMBIENTE SOCIOECONOMICO, TECNICO Y CIENTIFICO

España entra en la Edad Moderna como la más importante potencia europea, gracias a la temprana constitución de un Estado Nacional, el contacto secular con la cultura más

avanzada de la Alta Edad Media, la islámica, la demografía, la pujanza económica, el descubrimiento de América y la constitución del mayor Imperio europeo desde Roma.

En el XVI, sin embargo, este panorama comenzará ya a cambiar debido a la crisis económica unida a la «revolución de los precios» (producida por la afluencia de metales preciosos de América) y la crisis lanera, y al tremendo costo de las guerras de religión en Europa con Carlos I de España y V de Alemania y Felipe II, que harán quebrar dos veces al Estado español en el momento que están llegando las riquezas de América. El XVII será un claro siglo de decadencia política-militar (que se concretará en la Paz de Westfalia) y económica. El XVIII, que se abre con el cambio de la dinastía de Habsburgo por la de Borbón, introduce elementos de renovación ilustrada en casi todos los órdenes, que se concretarán en una mejoría económica y técnica, en especial en el reinado de Carlos III. En el reinado de Carlos IV, volverá la tendencia decadente, que ya sin solución de continuidad acabará en la Guerra de la Independencia (1808-1814).

Técnicamente, España realizará aportaciones importantes en la Ingeniería Naval y Navegación, produciendo manuales de navegación que como el de MEDINA (XVI) se emplearán en todo el mundo hasta el siglo XVIII o el primer libro de Ingeniería Naval del mundo, la *Instrucción Nautica* de DIEGO GARCIA DE PALACIO, publicada en Nueva España (México) en 1587; en el XVIII la Armada española, gracias a los arsenales peninsulares y americanos, será la tercera del mundo. Otro campo con aportaciones fundamentales, será el de la Ingeniería Minero-Metalúrgica, impulsada por la minería de la plata y oro de América. Sucesivamente, se pondrán a punto técnicas de amalgamación en frío con el método de los patios de BARTOLOME MEDINA en 1555 y la amalgamación en caliente de ALONSO BARBA, párroco de Potosí en el XVII; este mismo técnico, publicará el *Arte de los Metales* que emplearán los metalúrgicos de todo el mundo hasta 1800. La Ingeniería Militar, será otro campo en que España hará importantes aportaciones. En 1765, JORGE JUAN (1713-1773), que había dirigido la expedición geodésica al Perú (1735-1744) y el Seminario de Nobles de Madrid creado en 1725, organizará la Escuela de Ingenieros de Marina en Cádiz. En 1777 se creará la Academia de Minas de Almadén, donde enseñaría STORR (...-1802), quince años después de la primera del mundo, la de Praga en 1762, trasladada a Schemnitz en 1770. En México, se fundará en 1792 la primera Escuela de Ingeniería de América que ha sobrevivido, el Real Seminario de Minería, por obra del ingeniero de minas español FAUSTO DE ELHUYAR (1755-1833), y JOVELLANOS, creará en Gijón el Instituto Asturiano de Náutica y Mineralogía. AGUSTIN DE BETANCOURT fundó en 1791 el Cuerpo Facultativo de Caminos. En relación con la investigación minero-metalúrgica, ingenieros de minas españoles descubrirán dos nuevos metales: los hermanos Elhúyar, el volframio en 1783 y ANDRES MANUEL DEL RIO (1765-1849) el vanadio (denominado por él primero pancromo y después eritronio) en

1801. Previamente, Antonio de Ulloa había descubierto el platino en 1748, para el cual el francés FRANCISCO CHABANEAU (1754-1852), afincado en España, diseñaría unos primeros sistemas rentables de obtención. Todos ellos, seguían en definitiva la tradición de la escuela ensayista española, que ya en el XVI era la más importante del mundo y había producido las primeras monografías sobre el tema, como el *Quilator de oro, plata y piedras* de JUAN DE ARFE en 1572.

A nivel científico, la decadencia económica y la censura de la Contrarreforma, producirán la marginación española de la Revolución Científica del XVII. A pesar del esfuerzo de los «novatores» como Cabriada, Mut, Tosca, Zaragoza y Caramuel, que desarrollan sus trabajos a fines del XVII y la primera mitad del XVIII para introducir la Nueva Ciencia del XVII y el propio impulso ilustrado, España no recuperará el nivel relativo del XVI nunca. Destacan las aportaciones del francés PROUST (1754-1826), director del Laboratorio de Química de Artillería en Segovia y de la Escuela de Química, creada en 1799, que descubrirá en España la Ley de Proporciones Definidas durante su trabajo en 1786. En Ciencias Naturales, a diferencia de las Físicas y Matemáticas, hay un nivel digno tras la creación del Jardín Botánico de Madrid en 1755, dirigido por el médico farmacéutico CASIMIRO GOMEZ ORTEGA (1740-1818) y después por el naturalista ANTONIO CAVANILLES (1745-1804). Desempeñan un importante papel las Expediciones Naturalistas. Aparte la de Perú citada, tenemos la del padre MUTIS (1732-1808) en Nueva Granada (Colombia) de 1782 a 1808; la de Perú y Chile de los farmacéuticos-botánicos HIPOLITO RUIZ (1752-1816) y JOSE PAVON (1754-1840) de 1778 a 1787, en la que se descubrieron más de 500 especies nuevas y la del Río de la Plata (1781-1801) dirigida por el ingeniero militar FELIX DE AZARA (1746-1821), con 200 especies nuevas y observaciones que fueron de gran importancia para DARWIN. A nivel institucional, debe destacarse también la creación en 1771, a través de la donación de sus colecciones por PEDRO FRANCO DAVILA, natural de Guayaquil, del Real Gabinete de Historia Natural, y la instauración por Floridablanca en 1787 de los estudios de Ciencias Naturales en dicho Gabinete (donde el alemán HERRGEN ocuparía la cátedra de Oritognosia y traduciría la *Oritognosia* de WIEDEMANN), así como la salida del primer número de los *Anales de la Historia Natural* en 1799, que llegarían a ver la luz en un total de 31.

2.2. LA EVOLUCION DE LAS IDEAS GEOLOGICAS EN ESPAÑA HASTA 1800

Las primeras especulaciones geológicas de que tenemos noticia fueran hechas por una persona nacida en España, son las de SENECA, en el siglo I, que en *Cuestiones Naturales* dijo que los terremotos eran originados por aire subterráneo.

Habría que esperar a S. ISIDORO DE HISPALIS, en el si-

glo VII, que toma nota de los fósiles, y, correctamente, les atribuye un origen orgánico, añadiendo que son testimonio del Diluvio.

La exploración naturalista del continente americano, produciría observaciones que serían un estímulo para la reflexión. FRANCISCO HERNANDEZ dirigió entre 1571 y 1577 la exploración de Nueva España (México), realizando la *Historia Natural de Nueva España*.

Destacamos también los nombres de ALVARADO, P. (1485-1541), que describe los volcanes guatemaltecos; ACOSTA, J. (1540-1600), que narra la *Historia Natural y Moral de Indias*, en 1590; OVIEDO Y VALDES, que publica la *Historia General y Natural de Indias*; COBO, B. (1596-1657), que realiza diversas observaciones sobre Nicaragua, Guatemala y México, en *Historia del Nuevo Mundo*; ANTILLON, I. (1778-1814), que tiene dos obras fundamentales: *Lecciones de Geografía Astronómica, Natural y Política*, 1804-1806, y *Elementos de Geografía Astronómica, Natural y Política de España y Portugal*, 1808, y ROJAS CLEMENTE, S. (1777-1827).

La reflexión geológica moderna en España, al igual que en el resto de Europa, estará fuertemente condicionada por la Biblia hasta 1750 y registra movimientos paralelos a los centroeuropeos. Una parte importante de la reflexión geológica hasta 1800, es realizada por sacerdotes y religiosos como se verá, reflejando actitudes distintas según las órdenes religiosas. Así, dominicos y jesuitas tienen una actitud condicionada por la supeditación de la razón a lo revelado y defienden la Escolástica, mientras que franciscanos y agustinos tratan de armonizar ambas, dando un amplio margen de autonomía a la razón. El cardenal Cisneros, p.e., franciscano, en una posición netamente moderna, apoya el nominalismo occamiano, uno de los soporres del positivismo frente al escolasticismo aristotélico.

En el siglo XVI, el descubrimiento de América planteó el problema de cómo había llegado la vida allí tras el Diluvio Universal, siendo que éste había exterminado a todos los seres vivos salvo los inquilinos del Arca de Noé. Este interrogante, llevó al padre JOSE DE ACOSTA (1540-1600) en su *Historia Natural y Moral de las Indias* (1590), a plantear la existencia de puentes de tierra con el Viejo Mundo que después habían desaparecido, lo cual llevaba a aceptar una historia geológica para el planeta.

En 1655 LA PEYRERE, planteó en torno a la Epístola de San Pablo, que indicaba que hasta la Ley Divina había pecado, que dándose ésta a Adán y siendo necesaria la existencia de hombres para que hubiera pecado, deberían haber existido algunos anteriores a Adán, los preadamitas. Las implicaciones teológicas de esta tesis, provocaron una rápida reacción de la Iglesia que llevó a prisión a su autor al año siguiente. En España, las implicaciones para el poblamiento de América, llevarán a Fr. BENITO GERONIMO FEIJOO Y MONTENEGRO (1676-1764), benedictino, aparte de a combatir las ideas preadamitas, a admitir, como probaban las conchas marinas en las montañas,



Figura 11.—El benedictino Feijóo (1676-1764) contribuyó poderosamente a la divulgación de algunas ideas geológicas.

que la tierra se eleva y se hunde dando paso a migraciones, y a que había montañas prediluvianas no creadas por Dios sino fruto del hecho de que «las piedras nacen y crecen». Estas tesis serían combatidas por SOTO y MARNE, franciscanos. Feijoo fue un poderoso divulgador en su *Teatro crítico universal* (1726-1740), de muchas ideas científicas de su época. También se daría cuenta de algunos procesos dinámicos en el litoral.

JOSE ANTONIO GONZALEZ DE SALAS (1588-1651), noble que editaría la primera Antología Poética de Quevedo y como éste perteneciente al círculo neoestoico madrileño, en su edición de la Geografía de Pomponio Mela en 1644, expone la idea de que el Diluvio cambió completamente la configuración de la Tierra.

JOSE VICENTE DEL OLMO, en su *Nueva descripción del Orbe* de 1681, da cuenta de la erosión de las montañas, y anticipa la idea de la isostasia, que sería enunciada por Bouguer tras la expedición hispano-francesa al Perú en el XVIII, al señalar que las montañas se elevan para recuperarse del desgaste erosivo.

En relación con el problema del poblamiento americano, el jesuita F. J. CLAVIJERO (1731-1793), en su *Historia antigua de México* de 1781, expone que América y África habían estado unidas por tierra que se hundió, habiéndose producido la migración tras la confusión de las lenguas en Babel. En torno a este problema, el marino ANTONIO DE ULLOA Y DE LA TORRE (1716-1795), que con Jorge Juan dirigiría la expedición al Perú, pensaba que el poblamiento había sido por mar, tesis que en nuestros días sería defendida por Thor Heyerdal con su Kon-Tiki.

Todas las principales polémicas con trasfondo geológico, tendrían repercusión en España además de las citadas, así las relativas a las tesis de Burnett o Scheutzer, y las que desatarían las obras de Buffon o la Enciclopedia. Ello prueba que España no estaba aislada de lo que ocurría en Europa; en este sentido, la organización internacional de la Iglesia, fue uno de los mecanismos de vinculación al ambiente intelectual centroeuropeo, al menos en los temas polémicos, y la fuerte componente española de órdenes como las de los dominicos y jesuitas, fue un elemento favorable.

La aportación del franciscano Fr. J. TORRUBIA (1700-1768), con su *Aparato para la Historia Natural española* de 1754, marca quizá el punto de inflexión hacia una Geología científica en nuestro país, no tanto por su contenido como por la claridad de ideas sobre el método a seguir, priorizando la observación. Torrubia diría en este sentido que su «Aparato está purgado en el Crysol de Bacon». Torrubia conocía Filipinas y Nueva España, y acumuló datos durante treinta años antes de publicar el *Aparato*. Establece que los fósiles son restos orgánicos producidos en el Diluvio y describe e ilustra con ellos su obra. Un interesante ejemplo de su actitud, entre razón y fe, es la argumentación que hace en torno al Diluvio, argumentando que en cuarenta días, por muy intensamente que hubiera llovido, no podía haber caído tanta agua como para sumergir las más altas montañas, concluyendo como creyente que «El Diluvio se celebró con agua venida milagrosamente de las manos de Dios». Torrubia admitía la erosión de las montañas y la sedimentación, aunque no el crecimiento de éstas, y rebatía argumentos de Feijoo sobre el crecimiento de las rocas.

ULLOA, en 1772, expone con claridad en sus *Noticias Americanas* el origen fluvial de los valles.

La obra del ingeniero de minas de oficio, irlandés, con preparación universitaria amplia en París, G. BOWLES (ca. 1720-1780), se sitúa plenamente en el campo científico. Había venido a España en 1752 recomendado por Antonio Ulloa, a quien había conocido en París, con objeto de mejorar las técnicas mineras, para lo cual estuvo en las minas de Almadén y Guadalcanal. Fruto de sus observaciones sistemáticas fue su *Introducción a la Historia Natural y Geografía Física de España* publicada en 1775 y que, según él, consta de «hechos y raciocinios». En ella, en torno a problemas concretos, establece la acción del mar sobre las costas y los movimientos eustáticos; el

origen de las fuentes y la relación entre la composición del agua subterránea y los terrenos que atraviesa; la dinámica fluvial (aunque no la sedimentación marina) y descubre el volcanismo apagado en España. Hombre que conocía Freiberg, Francia y los Alpes, asume la unidad geológica del mundo, comparando formaciones españolas y europeas y hablando de la homogeneidad de los procesos en todas las zonas. Estudia detenidamente la «descomposición» (meteorización) de las rocas. Reflexionando ante una montaña, dice: «La razón humana se pierde considerando el tiempo que ha sido menester para formar ésta y otras montañas», atisbando por tanto la inmensidad del tiempo geológico diez años antes que Hutton. Expone asimismo, la idea de ciclo geológico, aunque de forma incompleta. La obra de Bowles, aparte de ser la primera descripción física de España realmente científica en un sentido moderno, indica que no pocas de las ideas que hombres como Hutton expondrían años más tarde, estaban ya en el ambiente y que éste estaba maduro para su aceptación.

El jesuita DEL BARCO (1709-1790) (SEQUEIROS, 1992), en su *Historia Natural de la Antigua California* (ca. 1780), recientemente publicada en España en 1989, expone unas ideas sobre los fósiles modernas y la tesis de que las costas marinas de California se han elevado cuestionando su origen diluviano por el poco tiempo que duró.

LOPEZ DE AYALA, literato y naturalista aficionado, expone en su *Historia de Gibraltar* de 1782, que el Estrecho se ensancha progresivamente, y por tanto habría tenido un comienzo, como el Mediterráneo, así como una teoría sobre las corrientes marítimas Atlántico-Mediterráneo.

El químico PROUST expone correctamente en un trabajo de 1791 la génesis de las terrazas fluviales, indicando que los cantos rodados de las mismas son el testimonio de que el río había corrido antes a esas cotas. Asimismo, avanza la audaz idea de que tanto el granito del Sistema Central como el mariánico, son afloramientos de un substrato que subyace a toda la submeseta sur.

La obra geológica del padre A. J. DE CAVANILLES (1745-1804), es también plenamente científica. Cavanilles, que entre 1778 y 1789 había estudiado e investigado en Francia aprovechando su carácter de preceptor de los hijos del Duque del Infantado, fue director entre 1801 y 1804 del Jardín Botánico de Madrid. Al igual que Mutis, fue un botánico eminente, y era un hombre ilustrado, lo que no le impidió replicar en nombre de los ilustrados españoles a la injusta consideración de las según Nicolás Masson de Morvilliers nulas aportaciones españolas a la cultura europea en los últimos siglos, que había expuesto en el artículo «España» de la *Nouvelle Encyclopédie* en 1782. Su aportación se contiene en la excelente obra *Observaciones sobre la Historia Natural, Geográfica, Agrícola, población y frutos del Reyno de Valencia* (1795-97). Cavanilles, cuyas ideas sobre la formación de las rocas son neptunistas, utiliza sistemáticamente los fósiles para identificar las rocas, haciendo algunas aportaciones en torno

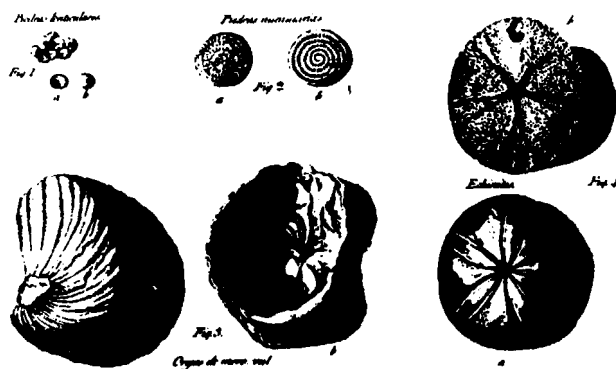


Figura 12.—Fósiles encontrados por Cavanilles (1745-1804). En *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia* (1795-1797).

a los nummulites, y comparando los hallados en Valencia con los de otros países; no alude al Diluvio en su obra. Explica correctamente la formación de travertinos, así como el ciclo erosión-transporte-sedimentación. También, como Bowles, atisba la inmensidad del tiempo geológico a partir de la lentitud de la erosión del relieve y la clara alteración del mismo.

2.3. FACTORES CONDICIONANTES DEL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS EN ESPAÑA HASTA 1800

Los factores que condicionaron en España el desarrollo de estas Ciencias, fueron similares a los del resto de Europa, tanto en lo que respecta a los externos como a los internos. Solamente caben algunas matizaciones diferenciales.

La primera es el papel que jugaron los territorios americanos, con su dimensión, su variedad natural y su importancia minera. Uno de sus efectos fue dotar de una visión amplia, no exclusivamente europeocéntrica a quienes dedicaron sus esfuerzos a este campo. En el XVIII, momento en que la evolución se está decantando hacia la Geología Científica, buena parte de los hombres que están abriendo este campo, de Ulloa a Del Río, de Elhúyar a Del Barco, conocen partes de América, e incluso algunos como Torrubia, Filipinas. No es de extrañar por tanto el correcto tratamiento de problemas como el de los fósiles y sus implicaciones, o el del ciclo erosión-sedimentación. Llama sin embargo la atención el no cuestionamiento del neptunismo cuando tanto en Nueva España como en Nueva Granada o en el Virreinato del Perú, había volcanismo activo. Quizá el sesgo minero, que en el caso de DEL RIO produciría lo que L. B. GUYTON DE MORVEAU (1737-1816) juzgaría como «la Mineralogía más notable de su tiempo en todas las lenguas», pueda explicar este hecho; en el

caso de Ulloa, el debate neptunismo-plutonismo es posterior a las observaciones y reflexiones de éste (1748 para la *Relación histórica del viaje* y 1772 para las *Noticias americanas*).

La segunda matización es el importante papel que desempeñarían los extranjeros, venidos a España gracias a la inteligente política ilustrada del XVIII. Bowles, Storr y Herrgen, hicieron aportaciones de gran importancia, en particular el ingeniero de minas irlandés Bowles, cuyo libro es el primero publicado en España plenamente científico por método y contenido. Esta característica se mantendrá ya a lo largo del desarrollo de las Ciencias Geológicas como una componente estructural, de Verneuil y Collomb en el XIX a Fallot en el XX.

Al terminar el siglo XVIII, puede afirmarse que las minorías ilustradas españolas que se interesan por estos temas, participan plenamente de las ideas científicas que sobre Ciencias Geológicas se dan en el resto de Europa, y que hay en embrión dos escuelas que persistirán en adelante; la más antigua, constituida en torno a los ingenieros de minas, que cien años más tarde, en 1889, dará a luz el primer Mapa Geológico Sistemático de España, y la constituida en torno a los naturalistas del Real Gabinete de Historia Natural.

3. LA ORYTHOLOGIA DE JUAN JOSE ELHUYAR

3.1. BREVES APUNTES BIOGRAFICOS SOBRE EL INGENIERO DE MINAS JUAN JOSE ELHUYAR (1754-1796)

El 15 de junio de 1754 nace en Logroño J. J. ELHUYAR. Poco más de un año después lo hace su hermano FAUSTO. Debido a esta corta diferencia de edad jugaron y estudiaron juntos, manteniendo una fuerte amistad que perduraría a través del tiempo.

Las biografías de Juan José son escasas, siendo mucho más numerosas las relativas a Fausto. Destacamos como más completas las de su descendiente el Dr. CAYCEDO, B. J. (1971), y LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1983 y 1985). También aportan algunos datos: MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871); MAFFEI, E. (1877); RYDEN, S. (1954), y otros. Nosotros recogeremos de ellas los datos de interés para este estudio, tales como son la formación, investigación y experiencia profesional.

Ambos hermanos inician su formación con los jesuitas, en la capital riojana, hasta la expulsión de éstos, por Real Decreto firmado por Carlos III en abril de 1767.

Desconocemos cómo prosigue su instrucción hasta el año de 1772 en que su padre les envía a París para que cursen estudios de medicina. Gracias al origen aquitano de sus ancestros disponían de un amplio dominio de la lengua francesa, por tanto los estudios no se vieron enturbiados por dificultades lingüísticas. Recordemos que la enseñanza

De la Orythologia.

La Orythologia, vulgarmente Mineralogía, es la Historia natural de las sustancias inorgánicas de este Globo, o conocimiento de sus propiedades, su interior como exterior, de su origen, lugares en que se hallan, y alteraciones que padecen. Divídese en tres partes: la primera en Orythoprosia, la segunda en Orythografía, y la tercera en Orythología.

La Orythoprosia es el conocimiento de los fósiles y sus variaciones propias y denominaciones dadas en un otro natural.

La Orythografía es el conocimiento de la estructura interior de este Globo, considerando el modo en que se hallan las diversas materias que componen y sus alteraciones.

La Orythología es la descripción de las Montañas particulares de este País, y los productos inorgánicos que en ellas se encuentran.

Por sustancias inorgánicas entendemos los productos naturales que se extraen de las entrañas de la tierra, en las queles no se encuentran vasos, ni vasos que elaboren jugos, indico algunos de acción vital, ni facultad locomotiva: caracteres que la distinguen de los animales y vegetales. Algunos también fósiles que se extraen subterráneos en la interior del Globo, y aunque otras palabras



Figura 13.—Orythologia, muy probablemente de J. J. ELHUYAR.

médica de la época se apoyaba en buena medida en los conocimientos de la incipiente Química, así como en las Ciencias Naturales, principalmente en la Botánica.

Según LOPEZ AZCONA, J. M. (1983), *Tuvieron la suerte de conocer en París al químico H. M. ROUELLE (1718-1779), el cual había sucedido en la docencia de esta materia a su hermano GUILLAUME FRANÇOIS, con motivo de su fallecimiento en 1770.*

Guillaume es un científico de mayor talla que Hilarie Marie. Crea una importante escuela química, siendo maestro, entre otros, de Lavoisier. Asimismo determina que las sales son el resultado de la acción de los ácidos sobre las bases.

Fueron discípulos aventajados de Hilarie, colaborando con él en la confección de sus dos únicas obras conocidas:

Tableau de l'analyse chimique (1774) y Opusculs physiques et chimiques (1774). También recibieron lecciones del famoso médico y químico J. D'ARCET (o DARCET) (1725-1779), Profesor del College Royal de Francia y ensayista metalúrgico. Este científico descubriría una aleación de baja temperatura entre el bismuto, plomo y estaño, la cual lleva su nombre.

Juan José regresa a España en diciembre de 1777, poco después lo hace su hermano Fausto. Ambos traerían una amplia formación científica. En 1778 pasan a Vergara, donde la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País había creado el centro científico más importante de España, el Seminario Patriótico.

Por R. Cédula de 26 de marzo de 1778 se establecen Cátedras de Química, Mineralurgia y Metalurgia, siendo dotadas por el Rey con 30.000 reales anuales para sueldos del profesorado, así como con otras partidas para material fungible y mobiliario. D. Juan de Elhúyar padre, que era miembro de la Sociedad desde 1777, quería que sus hijos pasaran a ocupar labores docentes en el Real Seminario, resaltando de ellos su amplia formación en la capital francesa (al final sólo lograría esto para Fausto en 1783).

El Ministro de la Marina, el marqués González de Castejón, estaba interesado en conocer las nuevas técnicas de fabricación de cañones por vaciado en hueco, sobre todo las practicadas en Carron (Escocia). Tratando de recopilar información, a través de una persona de suficiente talla científica, se dirige a los responsables del único centro hispano donde se cursan estudios metalúrgicos con amplitud. Se solicita al fundador y primer Director del Seminario, X. M. DE MUNIBE E IDIAQUEZ, Conde de Peñafloreda (1723-1785), así como al Secretario perpetuo de la Sociedad, J. M. DE EGUIA, Marqués de Narros (1723-1803), una persona para llevar a cabo dicha misión.

El nombre propuesto es el de Juan José Elhúyar, pero hábilmente la Sociedad Bascongada de Amigos del País pediría compensaciones por dicha pérdida, proponiendo al Ministerio que se becara también a su hermano Fausto, para que le acompañara a lo largo de sus viajes y estudios. Pretendían incrementar la formación de este último en importantes Centros docentes europeos, así como en la parte práctica adquirida con motivo de la visita a minas y fábricas, ya que el fin perseguido era que éste fuera posteriormente contratado como Profesor del Seminario.

El hijo mayor del Conde de Peñafloreda, R. M. DE MUNIBE (1751-1774), había sido enviado por su padre a Europa para complementar su instrucción. Desde 1770 a 1773 recorre Francia, los Países Bajos, Alemania, Dinamarca, Suecia, Austria e Italia, para adquirir principalmente conocimientos de Mineralogía, Química, Minería y Metalurgia, así como otras materias consideradas básicas, para mediante su aplicación lograr el desarrollo de su patria chica. En el curso 72/73 estudia en la Escuela de Minas de Freiberg (y tal vez sea el primer español que lo hiciera), donde aún no había sido contratado el eminente Werner, pero en

78.

78

et le ~~Calt~~ n'avait aucune ressemblance avec les métaux connus.

Acide tungstique
La pierre pesante est composée d'un acide particulier de terre calcaire, d'un peu de terre vitrescible et d'un peu de fer. On repare l'acide en faisant fondre dans un creuset à partir de cette pierre avec le calcaire: on dissout le produit dans l'eau, et il reste une poudre blanche qui est calcaire et que l'acide nitreux dissout en partie, ce qui reste est de la pierre pesante non décomposée, et un peu de terre vitrescible, en procédant. Comme ci-dessus jusqu'à l'entière décomposition, on obtient environ 2 pour cent de terre vitrescible, et on n'est pas sûr si elle ne produit le calcaire, le fer est précipité de la dissolution acide par l'alcali phlogistique dont 6 parties contiennent 1 de fer, on précipite la terre calcaire par le moyen d'un alcali, et l'acide pesant de la dissolution alcaline par l'acide vitriolique, cet acide est dissout

Figura 14.—Notas sobre el ácido tungstico en los Apuntes del curso impartido por Bergman.

ella ya daba sus clases de Química metalúrgica GELLER, C. Fruto de estos viajes hay que destacar el interés que Ramón María adquiere por la Mineralogía, traduciendo en 1773 la obra de Cronstedt.

Otro hijo de Peñafloreda, llamado Antonio María, también pasa, en 1775, a estudiar Química en París, para posteriormente trasladarse a Suecia, donde adquiere conocimientos metalúrgicos.

Suponemos que las experiencias de Ramón y de Antonio sirvieron de orientación en la planificación del viaje de los hermanos Elhúyar. Asimismo es probable que los hermanos Munibe, al menos Antonio, coincidieran con los Elhúyar en París, lo que pudo influir, por otro lado, en la elección de Juan José.

En 1778 parten los hermanos Elhúyar, vía París, hacia la fábrica de cañones de Manheim, en Alemania. Posteriormente se dirigen a la Escuela de Freiberg, matriculándose

en el curso 78/79. Allí fueron discípulos de WERNER, A. G.; REGHSTER, y GELLER, C. A finales de curso, Werner, en su informe anual señala como alumnos destacados a Juan José y a Fausto.

Los hermanos Elhúyar permanecieron en la Escuela de Minas sajona por espacio de tres cursos, dado el interés que despertaban en ellos las enseñanzas allí recibidas. En abril de 1781 abandonan Freiberg, pasando a visitar la Escuela Schmnitz, en Hungría.

Un hecho muy importante de este viaje es la visita que realizaron en Viena al metalurgo I. E. von BORN (1742-1791), el cual aún no había puesto en marcha el método de los toneles de amalgamación.

Posteriormente recorrieron las minas y fábricas de Estiria, Carintia, Carniola y Tirol.

En otoño, Juan José parte hacia Upsala, en Suecia, para asistir a las lecciones de T. O. BERGMAN (1735-1784), mientras que Fausto regresa a Vergara para hacerse cargo de las clases de Mineralogía, en el Real Seminario.

Juan José estuvo en Upsala durante un semestre del curso 81/82, alcanzando un notable nivel químico, sobre todo en lo relativo a análisis por vía húmeda, por precipitación química y mediante el empleo del soplete. Allí conoce a CH. A. H. GROSSART DE VIRLY, con quien traba una buena amistad. Ambos recorrerían Escandinavia juntos, reconociendo las minas de cobre de Falun, visitando al boticario C. W. SCHEELE (1742-1786), en Köping, las minas de plata de Krönsberg, etc. Recordemos que Scheele había obtenido, al igual que lo hiciera Juan José en los laboratorios de Bergman, el ácido tungsténico, sin llegar a poder aislar el metal en él contenido.

Estaba previsto que Juan José fuera a Inglaterra y así lo hizo en el verano de 1782. La visita fue rápida, pasando enseguida hacia España.

A su vuelta tuvo que presentar un amplio informe al Ministro González Castejón para dar cuenta del cumplimiento de la misión encomendada. Parece ser que éste no quedaría satisfecho, por considerar insuficiente la información obtenida sobre los nuevos métodos de fabricación de cañones.

Nada más llegar a Vergara, Juan José cuenta a Fausto sus experiencias en Suecia, comentándole el hecho de la obtención de un ácido, del cual comentaban Bergman y Scheele la posibilidad de extraer un nuevo metal. De acuerdo con esto, realizan diversos ensayos con muestras de wolframita (mineral que los alemanes llaman Wolfram o Wolfarth y cuyo nombre latino es Spuma Lupi o Lupis Jovis) procedente de las minas de estaño de Schlackenwalde, en Bohemia. Por fin, a principios de 1783, obtuvieron un nuevo metal, de peso específico elevado, al que bautizaron con el nombre de volframio.

En septiembre, presentaron una memoria sobre este acontecimiento a las Juntas Generales de la Real Sociedad

Bascongada de Amigos del País bajo el título *Análisis químico del Volfram, y examen de un nuevo metal, que entra en su composición*. Poco después, este trabajo es remitido a la Academia de Sciences, Inscriptions et Belles Lettres de Toulouse (1784), a partir de este momento la noticia del nuevo descubrimiento inicia su andadura universal, siendo dicho hallazgo publicado en las principales lenguas europeas.

Al ser éste el único libro editado de Juan José, es conveniente detenerse en su análisis, sobre todo desde el punto de vista mineralógico que es el que suscita nuestro interés en este momento. Llama la atención el inicio de la obra con la descripción de la wolframita, siguiendo el método dado por Werner en su obra *Tratado de los caracteres externos de los fósiles*. Se aprecian asimismo citas a importantes oritognostas tal es el caso de Henckel, Cronstedt, Walleurius, Justi, Scopoli, Sage, Lehman y otros. También hay que reseñar su preocupación por la nomenclatura científica, inclinándose por adoptar el nequaje mineralógico de Cronstedt, que en un mot, la *Minéralogie, au lie d'un langage vague*.

Por R. O. de 22 de mayo de 1784, se dispone sean enviados al Reino de Nueva Granada dos operarios hábiles en la Mineralogía y en la Metalurgia, para activar la decadente minería argentífera del lugar, así como formar a sus habitantes con las técnicas precisas para que dicho plan se llevara a efecto. Estos son Juan José Elhúyar y su cuñado, médico y ex alumno de Freiberg, Angel Díaz. Todo había sido arreglado con anterioridad por el Conde de Peñafloreda, el cual había organizado una entrevista de Juan José con el Ministro de Indias Gálvez.

El 28 de junio de 1784 se embarcan, con libros y material científico, en el correo Nuestra Señora de la Popa, más conocido como «El Soriano» por su carga habitual de cecina y salazón procedente de dicha provincia. El 18 de septiembre llegan sin novedad a Cartagena de Indias. Solicitando en dicha ciudad la fabricación de los equipos mineralúrgicos necesarios para concentrar las menas a estudiar. El Virrey Antonio Caballero de Góngora ordena que se realicen en la Maestranza de Artillería.

En enero de 1785, ya con los equipos preparados, parten hacia la provincia de Mariquita, por tortuosos itinerarios. Siguen las órdenes del Virrey para que se desplacen a dicho lugar, reconociendo los criaderos y dando órdenes para el beneficio de los mismos, contando con la colaboración de MUTIS Y BOSSIO, J. C. (1732-1808), afincado por aquellas tierras.

Celestino Mutis es un gran botánico (admirado por C. Linneo, a quien enviaría gran cantidad de material científico), Profesor de Física y Matemáticas en la Universidad de Bogotá y autor de numerosos estudios sobre las distintas ramas de las Ciencias Naturales. En 1783 organiza, por encargo del Virrey Caballero, la Expedición Científica Botánica al Reino de Nueva Granada. Poco después, en 1784, le nombran miembro de la Academia de Estocolmo

y del Real Jardín Botánico de Madrid. Al año siguiente, Caballero le pide que ayude y asesore a los recién llegados.

Celestino se desplaza a Honda a dar la bienvenida a Juan José. En febrero de 1785 llegan los expedicionarios a Mariquita, estableciéndose a una jornada de las minas de plata del Real de Santa Ana.

En junio, tras inspeccionar el territorio, Juan José Elhúyar propone la puesta en marcha de las minas del Cristo y de San Juan, en el Real de Laxas, así como las de los Santos y de Santa Ana, en el Real del mismo nombre. Posteriormente, entre diciembre de 1785 y enero de 1786, sugiere la intensificación de las labores en las minas de Honda, así como la reducción de actividad en las de Laxas, antes citadas, por diversos problemas. Desde entonces son sucesivas sus visitas y reconocimiento de las distintas minas del territorio.

Desde la llegada a Mariquita, Juan José, Celestino, Angel Díaz y el Teniente Coronel Domingo Izquierdo, inician los ensayos para la obtención del metal de plata. En febrero Juan José se decanta por el recién creado método de los toneles de amalgamación, de su conocido I. von Born, del cual había recibido cumplida información a través de las cartas de su hermano Fausto.

Poco antes, en marzo de 1785, Born había realizado una demostración de su método, en la Casa de la Moneda de Viena, en presencia del Emperador. Este procedimiento metalúrgico había sido preparado y ensayado con anterioridad en Freiberg. En 1786 se publican dichos trabajos en la obra *Anquicken der gold und silberhältigen Erze, Roshteine, Swartzkupfer und Hüttenspeise*.

El 18 de julio de 1786, Fausto es nombrado Director General de la Minería de Nueva España y enviado a Centroeuropa para que se instruya en las nuevas técnicas de amalgamación. Con motivo de este viaje acude de nuevo a ver a Born en su taller de Glashütte, cerca de Schmnitz, donde se da cuenta de la necesidad de mejorar el método alemán mediante la adición de sal común y sosa. Fausto ya conocía este procedimiento de los toneles de amalgamación; recordemos la carta enviada a Juan José el 18 de abril de 1775: *El nuevo método de Born, en cuanto al fondo, es el que Alvaro Alonso Barba descubrió en 1609 y describe en su libro tercero, pero bien podrás imaginarte cuánto más perfecto será con la aplicación de los conocimientos actuales*. Al interesarse Juan José por el tema, va recibiendo nuevas cartas de Fausto, en 1786 y 1787, el cual acaba incluso enviándole un ejemplar del libro de Born.

Juan José se decide por instalar este método en la mina de Manta, descubierta en la misma veta que la de los Santos, en el Real de Santa Ana. Los problemas se multiplican, por ejemplo: no hay forma de conseguir calderas de cobre, debiendo construirse de madera. Por fin, se inician los ensayos en junio de 1788. Esta tal vez sea la

primera aplicación de los toneles de amalgamación de Born en América.

Posteriormente se decide la construcción de unos hornos de fundición. Tras vencer una serie de dificultades, en la molienda del mineral, el 30 de noviembre de 1791 se produce la primera plata fina procedente de estas minas.

La presencia de piritas en la mineralización, convirtiéndose en ácido sulfúrico durante el tratamiento posterior, generaron problemas en cuanto al rendimiento de la explotación. Juan José es denunciado por este hecho, en 1794, debiendo Mutis realizar un informe en su defensa. Según LOPEZ DE AZCONA (1983), *El Virrey Ezpeleta no estaba conforme con la explotación estatal de las Reales Minas, por parecer ruinosa para el erario*, comunicándole al Ministro de Indias la necesidad de su privatización.

En septiembre de 1796 muere Juan José, debido a un derrame cerebral. Poco después trataron de paralizar las labores de Santa Ana. De ella dijo Mutis: *La primera casa de amalgamación de Santa Ana prueba lo que un hombre de ingenio y dedicado al servicio del Gobierno es capaz de hacer, en medio de grandes obstáculos presentes en América*.

La labor de Juan José no se restringe sólo a la minería de la plata, al servicio del Estado. A continuación describiremos someramente alguna de estas actividades.

En 1774, FRANCISCO BENITO, de la Casa de la Moneda de la Ciudad de Santa Fe, mezcla platino y cobre elaborando una medalla real, según recogemos de los papeles de Mutis. Poco después, GUYTON DE MORVEAU, L. B. (1737-1816), y CHABANEAU, P. F., obtienen lingotes de platino. Este último envía lingotes al orfebre parisino E. Jeanety para que hiciese joyas a partir del nuevo metal. En 1785, el Gobierno estaba preocupado por el contrabando de oro aleado con platino, por ello se encomienda a Juan José la separación de ambos metales. Por este motivo, redacta unas normas de análisis, considerando tres casos: monedas, oro en polvo y lingotes. Al año siguiente le vemos como Director de las minas de platino de Ataniquitas, con el encargo de obtener metal puro y maleable.

Ese mismo año visita las minas de esmeraldas de Muzo, describiendo la geología del criadero y proponiendo mejoras para su laboreo.

Al año siguiente redacta, junto con Celestino Mutis, el *Plan razonado del establecimiento de un Cuerpo Militar de Ingenieros Mineralógicos en el Nuevo Reino de Granada*, similar al creado en México, pero que nunca llegaría a funcionar.

En 1789, muestra interés por la mina de Nuestra Señora del Rosario, de Sapo, en la jurisdicción de Ibagué, ensayando varias muestras aportadas por Mutis. Años después, en 1793, le vemos constituyendo una empresa, «Ugarte y D'Elhúyar», para la explotación de este yacimiento. En

esta industria tuvo numerosos problemas, siendo herido, con arma blanca, por el encargado de las labores de investigación que pretendía registrar la mina a su nombre. Asimismo falsas denuncias, causadas por esta actividad, hicieron que fuera confinado entre julio y noviembre de 1795.

En 1790, estudia muestras salinas de las minas de Zipaquirá, beneficiadas por la Real Hacienda.

Asimismo, organiza con frecuencia expediciones geognósticas, como la realizada al Páramo de Ruiz en 1792.

Aparte de esta somera relación de actividades habría que considerar muchas otras de menor envergadura, que no recogemos por ser extensa su relación. En el relativamente corto período de tiempo que a Juan José le toca vivir en Sudamérica se aprecia un trabajo intenso. Así lo señala LOPEZ AZCONA, J. M. (1983): *Como Profesor de Mineralogía, lució Juan José sus brillantes dotes en Nueva Granada, logró elevados cargos administrativos y técnicos actuando profesionalmente en explotaciones mineras, alcanzando gran reputación y consideración*.

3.2. LA PRIMERA ORITOGNOSIA ESPAÑOLA

El primer tratado de Mineralogía escrito en España es el *Curso de Mineralogía y Geometría Subterránea*, compuesto en alemán por E. C. STORR (1750-1802) para el desarrollo de su labor docente en la recién creada Academia de Minas de Almadén. Según documentos del Fondo Histórico de Almadén (leg. 60), en 1779 se enviaron cuatro juegos de diccionarios, desde Madrid, para que J. E. Graef tradujese dicha obra al castellano. Parece ser que nunca se concluyó esta labor, por fallecimiento de Graef, y que incluso se extravió el texto manuscrito original.

El libro anterior, pese a haber sido confeccionado en España, no fue escrito por un autor nacional, ni estaba redactado en la lengua de Cervantes. La primera obra de Oritognosia elaborada en versión original en español es, sin duda, *Orythología*, aparecida entre los papeles del botánico gaditano MUTIS, C. (1732-1808) depositados en el Archivo del Real Jardín Botánico de Madrid (ver Div. III.6.1.22 y 23).

Esta obra consta de un documento completo, puesto en limpio, y de la última parte de una copia. La simple observación de sus caligrafías nos lleva a pensar que las partes denominadas arbitrariamente original y copia han sido confeccionadas por autores distintos. Según LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1983), refiriéndose a J. J. Elhúyar, al que supone la paternidad de esta obra, señala: *No es extraña la permanencia inédita de sus trabajos, aunque con múltiples copias por escribientes, dado que la imprenta no se introdujo en Santa Fe hasta 1739 y durante las primeras décadas fue reducida su actividad*.

El autor, en una presentación, de 14 páginas, define la

Orythología o vulgarmente Mineralogía como la Historia Natural de las sustancias inorgánicas del Globo. Esto es, conocimiento de sus propiedades tanto externas como internas, su origen, lugares en que se hallan y alteraciones que padecen. Esta materia se divide en tres partes diferenciadas: Orythognosia, Física Subterránea y Orythografía (Div. III.6.1.22). Nosotros nos centraremos en el estudio de la primera parte (Div. III.6.1.23).

El extenso volumen de la Orythognosia, consta de 190 páginas y se inicia con la definición de esta ciencia, como *aquella parte de la Historia Natural de los fósiles que nos los hace conocer con denominaciones adecuadas y determinadas por caracteres propios, distribuyéndolos por un ordenamiento natural*.

Es curioso comprobar cómo del análisis detallado de esta definición se pueden extraer datos relativos al contexto general de la obra.

Vemos cómo los minerales aparecen bajo la denominación de fósiles. Se emplea esta palabra en su sentido aristotélico. Estos serían los cuerpos producidos en el interior de la tierra susceptibles de ser explotados o extraídos en canteras. No nos extraña, por ejemplo, que Fr. José de Torrubia en su obra, al igual que hacen otros autores de la época, describa como fósiles tanto a los restos paleontológicos como a los distintos minerales.

En esta definición también se expresa la constante preocupación de los mineralogistas de la escuela werneriana por la búsqueda de una terminología concisa. En aquella época los distintos autores acudían a los nombres locales de cada especie, lo que requería que en los sucesivos tratados apareciesen las múltiples denominaciones dadas a los minerales, por el resto de los científicos. En esta obra, por ejemplo, se indica: *El Sr. Werner dice que el Verde de Cobre es la Ordalische Malachite de C. Cronsdet*. HERRGEN (1760-1816) recoge este sentir en la nota introductoria a la traducción de la Oritognosia de Wideman, donde plasma la necesidad de comunicar las observaciones y descubrimientos de esta ciencia: *por medio de un idioma científico fijo, uniforme y análogo al que los sabios extranjeros han establecido, desde que se intruxo en las escuelas de Hungría y Alemania*. ELHUYAR, J. J., ya había manifestado la necesidad del empleo de una correcta nomenclatura, tal y como se apreciaba en la memoria que escribió con Fausto sobre el descubrimiento del wolframio.

Considera como caracteres propios: los que se observan sin emplear instrumentos que alteren su naturaleza, llamados exteriores o físicos, y los que sólo se descubren exponiéndolos a la acción de otros cuerpos que muda su estado natural, son los denominados internos o químicos. Aunque considera que éstos son más constantes que los primeros y por tanto dan mayor seguridad en un ordenamiento metódico, también es consciente que son más difíciles e incómodos de descubrir. Por todo ello opta por una clasificación físico-morfológica y no una clasificación con base química. En cada especie mineral se enumeran

de forma ordenada datos relativos a color, morfología, brillo, fractura, opacidad y otras propiedades tales como dureza, sabor, tacto, densidad, etc. Finaliza la descripción de cada variedad con otros datos de carácter complementario: variedades existentes, citas sobre yacimientos, aplicaciones e incluso enumeración de publicaciones específicas (por ejemplo: el *Tratado de los topacios de Schuekenstein*, del BARON DE BORN, el tratado sobre la piedra fusil, *Buschreibung von Stavensklint*, de ABILGHORT, S., o la *Memoria sobre la leche de montaña* de SCHEFFERS).

Tras la definición de Orytognosia se establece una ordenación del reino mineral según cuatro clases, de acuerdo a los criterios tradicionales: Tierras y piedras, sustancias salinas, cuerpos metálicos y sustancias combustibles. Las clases se dividen en géneros y éstos se subdividen en familias y especies. Todas estas divisiones siguen las pautas wernerianas, según se va explicando sucesivamente a lo largo del manuscrito. Las referencias a Werner superan el centenar y no sólo se refieren a la estructura de la obra, sino también a aclaraciones sobre temas específicos, por ejemplo: *El Sr. Werner piensa que la mobilidena de Sajonia y la de Inglaterra no son de la misma naturaleza, pero careciendo de pruebas bien ciertas por ahora las coloca en la misma familia*. En total se definen alrededor de doscientas especies minerales.

En algunos casos se aportan datos relativos a la composición de ciertas sustancias, así, por ejemplo, el autor indica: *El cinabrio es una combinación del mercurio con el azufre*. Se sigue el criterio werneriano de considerar importantes los análisis cualitativos para identificar a las especies, pero no para clasificarlas. La ausencia de análisis cuantitativos y estudios petrográficos imposibilitarían la separación entre minerales y rocas, siendo asimismo muy difícil diferenciar especies de aspecto y propiedades similares.

De acuerdo con las carencias expuestas, el autor considera a trapps y basaltos incluidos dentro del género de tierras y piedras talcosas. En un apéndice a continuación indica que los productos volcánicos *son una sustancia cuya naturaleza es poco o nada conocida, es muy difícil determinar el lugar propio que deben ellos ocupar en un ordenamiento metódico de los fósiles*. En definitiva, se aprecia a lo largo de la obra el poco desarrollo de la ciencia, señalado con humildad por un escritor de gran formación.

Llama también la atención el escaso peso específico dado a la Cristalografía y la nomenclatura empleada en la descripción de los cristales. Así, cuando se describen los granatoedros se indica: *Todos los lienzos son en número de doce, son por lo común rombos iguales*. En la obra se señala el conocimiento de la versión alemana de la Cristalografía de ROME DE L'ISLE, sobre todo en la descripción cristalográfica del espato calizo, a la que dedica gran extensión. Para este fósil señala tres posibles hábitos cristalinos: *«que son la pirámide hexaedra, el prisma hexaedro y la pirámide triédra*. En definitiva se describen formas geométricas pero no se habla de sistemas crist-

lográficos, ya que aún no se conocían las simetrías cristalinas.

Al carecer la obra de firma y fecha, lo primero que cabría pensar es atribuirle la paternidad de la misma a MUTIS, pero la mayor parte de los datos nos llevan a pensar que estamos ante un trabajo de J. J. DE ELHUYAR, además de la comparación de caligrafías con escritos originales de MUTIS y ELHUYAR.

En el Reino de Nueva Granada, ambos trabajaron codo a codo, estableciéndose entre ellos una gran amistad, por lo que algunos escritos de Elhúyar pudieron pasar a manos de Mutis, tal y como se comprueba en los papeles de este último, depositados en el Real Jardín Botánico.

La formación de Mutis, procedente de sus estudios en Madrid con Virgili, es eminentemente médica y botánica (como soporte a la Medicina), pese a sus inquietudes mineralógico-mineras le surgen, como empresario del ramo, le llevaron, según señala PELAYO (1992), a la lectura de algunas obras en estos temas: *A lo largo de cuatro años se documentó, según comentó el mismo, en disciplinas como la docimasia, la mineralogía y la metalurgia, estudiándolas en obras europeas que se habían llevado a Nueva Granada*. Pese a todo, pensamos que esta labor autodidacta no le pudo proporcionar una cultura profunda en este campo. La formación mineralógica de JUAN JOSE es mucho más relevante, ya que estudia con los grandes maestros de esta materia, siendo más probable que fuese el autor de la Orighthología, ya que concuerda más con sus aficiones y porque estamos ante una obra muy elaborada. También parece lógico que MUTIS no se pusiese a escribir en un tema en el que no era experto, a la par que se codeaba a diario con ELHUYAR, que sí lo era. Recogemos un párrafo de una carta de Mutis a Elhúyar, conservada en el Real Jardín Botánico, que pensamos puede ser significativa al respecto: *Pasados los instantes que es necesario dar a los papeles, se enfriará vuestra merced para seguir en sus delicias mineralógicas, como yo lo hago con las de la flora*.

Según LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1983): *Varias veces manifestó Juan José su idea de escribir una Oritognosia y se da la circunstancia de conservarse entre los papeles de Mutis un tratado de Orygthología que por la profundidad con que está escrito, las referencias a Werner y las continuas citas alemanas podría atribuirsele*.

En la obra se aprecia que el autor posee una sólida formación y amplios conocimientos del alemán, al darse numerosas citas de autores y obras escritas en esta lengua (SCOPOLI, BORN, HENKEL, etc.), así como por la persistencia de voces técnicas en este idioma. Asimismo emplea numerosas palabras francesas, sobre todo cuando quiere reforzar una cita, por ejemplo al manifestar que el cuarzo prasio posee color puerro bajo y luego entre paréntesis

añade «foncée». Otras veces le resulta más fácil acudir a la terminología francesa, así cuando describe las fosilizaciones de pescado en la piedra de cal, señala la presencia de «arrets». Etc.

También hemos comparado la escritura del supuesto original con las anotaciones del curso impartido por BERGMAN, así como con dos documentos firmados por D'Elhúyar, tomados de los papeles de MUTIS del Real Jardín Botánico: *Instrucción para el descubrimiento de las vetas de azogue* (Div. III.6.1.11) y *Ensayo de las diversas especies de mineral de la mina de Cupilicuacita* (Div. III.6.1.14), siendo muy posible que exista coincidencia grafológica. Posteriormente hemos observado la morfología de la escritura de MUTIS en un estudio *Sobre el total abandono de los conocimientos de las ciencias útiles en este Nuevo Mundo* (Div. III.6.1.4.) comprobando diferencias entre las letras d y g, así como una notable coincidencia en la rara caligrafía de la letra P. De todas formas la comparación entre escrituras, por persona no experta en el tema, no nos confirma datos en ningún sentido, pero tampoco se opone a nada de lo expresado con anterioridad.

Por otro lado, gracias a las distintas citas bibliográficas y a una particular referencia en el texto, que citamos a continuación, podemos determinar de forma aproximada la fecha de escritura de la obra: *El Sr. Werner coloca este fósil* (Mina de oro especular) *entre las minas de oro, porque él contiene por quintal, según los ensayos de Scopoli, diez marcos de una aleación de oro y plata, cuyos dos tercios son de oro y un cuarto de plata*.

El contiene, además de eso, antimonio, hierro, plomo y azufre. Se debe su conocimiento a Scopoli, que fue el primero que lo publicó hará unos veinte años.

G. A. SCOPOLI es un naturalista que estudia, a mediados del siglo XVII, los minerales mercuriales de Idria, los de oro de Transilvania, etc. Publica varias obras, destacando *Enleitung zur kenntniss und Gebruch der fossilien*. Este libro es citado en el único documento impreso que nos deja Juan José, y que fue escrito en colaboración con su hermano Fausto. En la Cátedra de Mineralogía de la Escuela de Minas de Madrid se dispone de la versión francesa de esta obra, se trata de la *Mémoire sur la nature du Volfram, a celle d'une nouveau métal qui entre dans sa composition*, remitido a la Real Academia de Toulouse en 1784 y publicado al año siguiente.

Todos los datos apuntan hacia J. J. Elhúyar como autor de esta obra, por su profunda formación en la escuela mineralógica alemana y por sus conocimientos lingüísticos. Las fechas comprobadas de algunas de las obras citadas no están en contra de esta hipótesis. Pensamos que este incunable tiene grandes posibilidades de haberse confeccionado en los primeros años de la década de los noventa.

4. LA ORITOGNOSIA DE ANDRES MANUEL DEL RIO

4.1. ANDRES MANUEL DEL RIO Y FERNANDEZ (1764-1849), INGENIERO DE ALMADEN, FREIBERG Y «SCHMNITZ»

Los principales apuntes biográficos sobre este autor se los debemos a J. M. LOPEZ DE AZCONA, publicados con motivo del bicentenario de su nacimiento. Sin embargo los primeros datos sobre Del Río se recogen en los *Apuntes para una biblioteca española* (1871), de MAFFEI, E., y RUA, R. Asimismo son importantes las reseñas biográficas de los autores mejicanos IZQUIERDO, J. J.; RAMIREZ, S., y ARNAIZ y FREG, A.; PRIETO, C.; BARGALLO, M.; VELAZQUEZ DE LEON, J., y otros. Pocos datos hemos podido añadir a tan importantes estudios, procurando centrar los análisis en la formación y producción científica de D. Andrés.

Andrés Manuel del Río y Fernández nace en Madrid, el día 11 de septiembre de 1764.

Estudia latín (lengua que aún por aquellas fechas se empleaba en buena parte de las obras científicas) y griego, en el Real Colegio de San Isidro. De allí pasa a cursar el bachillerato en la Universidad de Alcalá de Henares, que en aquella época mostraba gran actividad científica, aprendiendo teología y literatura, así como ciencias. Su maestro D. José Solano le selecciona para la disertación de fin del curso 80/81, centrada en el tema de la Física (parece ser que fue la primera en esta materia). Obtuvo el título a los 16 años, alcanzando el premio de «concursante más aprovechado».

Tratando que prosiguiese los estudios, el profesor Solano realiza gestiones ante el Ministro Diego Gardoqui. Fruto de éstas, se promulga la R. O. de 13 de junio de 1782, dada por Carlos III, por la que se nombra a Del Río alumno cadete de la recién creada Academia de Minas de Almadén, asignándosele un sueldo de 16 reales diarios.

En Almadén inicia el curso 1782/83, aprendiendo Geometría Subterránea y Mineralogía, bajo la tutela del alemán Störr. Es el octavo alumno que se matricula en la Academia y el segundo que sale a complementar sus estudios fuera. Compartiría aulas con Carlos Buxó, Francisco Carlos de la Garza, Pedro Palacios Ximan, Andrés José Rodríguez y Pedro Subiela.

Según MAFFEI, E. (1877): *Parece que Störr enseñaba el levantamiento de planos subterráneos por el método práctico usado en Hannover, empleando la toesa de aquel país, a cuya medida estaban ajustadas unas tablas, en las cuales se calculaba, aproximadamente, la resolución de triángulos. También explicaba rompimientos pero no abarca por completo la Geometría Subterránea. Además enseñaba entibación, excavación e investigación de los criaderos*.

No le toca buena época a Del Río en Almadén, ya que parece ser que Störr tenía bastante desatendida la enseñanza, pero pronto fue destituido. El 17 de septiembre

de 1783, J. M. HOPPENSACK (.....-1815) sería nombrado por el Ministro de Indias José Gálvez Director y Delineador de las Minas, con la condición de enseñar Geometría Subterránea y Minería Práctica. Rápidamente reorganizaría la docencia, imponiendo un rígido horario. Según MAFFEI, E. (1877): *Hoppensack adelantó la enseñanza de la Geometría Subterránea, usando toda clase de medidas y aplicando las tablas de logaritmos para la resolución de los problemas de esta clase.*

En este año, también se envía a Almadén, como visitador de las minas, al joven canario A. DE BETANCOURT Y MOLINA (1758-1824), con el encargo dado por Floridablanca de evaluar el estado de las labores. Con tal fin, al poco tiempo, realiza la *Memoria de las Reales Minas de Almadén*. En 1784 se dispone que pase a París para complementar su formación minera, aunque allí orientaría sus estudios hacia la ingeniería de caminos, matriculándose en la *École de Ponts et Chaussées*.

Por R. O. de 8 de noviembre de 1872 Andrés José Rodríguez abandona Almadén para completar sus conocimientos en Madrid. Año y pico después, Del Río le sigue los pasos, pero su estancia en la capital no dura mucho. La brillantez académica de este alumno hace que el Ministro Gardoqui, por R. O. de 2 de julio de 1784, le remita pensionado a formarse en el extranjero. Se piensa que los estudios a realizar se deben centrar en las ciencias exactas, físicas y naturales, teniendo en cuenta sus aplicaciones prácticas.

Pronto llega a París, donde suponemos coincidiría con Betancourt en alguna ocasión. Recibe lecciones de Química con J. D'ARCET (1725-1801), en el Colegio Real de Francia. Este autor estaba especializado en el comportamiento de los minerales ante el fuego. Con él investiga, entre otros temas, la composición de los materiales de la porcelana, ya que tiene el encargo de instalar una industria de este tipo en la Península. Aquí es donde Del Río recibe las primeras nociones analíticas.

En esta ciudad también se dedica al estudio de la Medicina y de la Historia Natural. Suponemos que en este último caso, la docencia se orientaría de acuerdo con los principios establecidos por el Conde de BUFFON (1707-1778), los cuales tuvieron gran impacto en la sociedad científica francesa. No se sabe la fecha con exactitud, pero entre 1785 y 1805 CLAVIJO FAJARDO, J. (1726-1806) tradujo la obra de BUFFON al castellano.

Asimismo es probable que Del Río llegara a conocer el recién publicado *Essai de Cristallographie* de J. B. ROME DE L'ISLE (1736-1790) y que tuviera la oportunidad de tener entre sus manos el goniómetro creado en 1780 por el discípulo del anterior A. CARANGEOT (1742-1806). Con este instrumento siempre le vemos en la mayor parte de sus retratos. Según AMOROS, J. L. (1964), años después, en 1795, ya ejerciendo su labor profesional, encarga a Francia uno de estos instrumentos y *todavía en 1805 no había*

conseguido un modelo europeo, resolviendo construirse uno de gran precisión.

En 1788 se traslada a la Escuela de Minas de Freiberg, en Sajonia, quedando inscrito formalmente como alumno del curso 88/89 con el número 333.

Suponemos que en Almadén adquiriría conocimientos de la lengua alemana a través de sus maestros Störr y Hoppensack, lo que le valdría para sus estudios en Freiberg. Allí conocería las obras de Werner, Kern, Foster, Charpentier, Gellerte y otros, ampliando sus conocimientos de Mineralogía, Laboreo y Metalurgia. Tuvo como compañeros a SAUSURE, H. B.; BUCH, L.; DOLOMIEU, D.; VON HUMBOLDT, A., y WEABER, todos los cuales llegaron a ser grandes científicos.

Por aquellas fechas Werner defendía el desarrollo del método inductivo basado en la observación de la Naturaleza en diversos puntos, para luego ordenar los cono-



Figura 15.—La Escuela de Ingeniería de Minas de Almadén, fundada en 1777 por Carlos III.

cimientos y de esta forma poder obtener los principios que la gobiernan. En esto se aplicaron los alumnos H. B. DE SAUSSURE (1740-1799), en los Alpes, y D. DE GRATET DE DOLOMIEU (1750-1801), en los Pirineos y en los volcanes de Italia, por lo que según DABUISSON, J. F. (1802), fueron definidos por su profesor como los primeros geognostas observadores.

El maestro Werner, en su informe sobre las actividades lectivas del curso, destaca como alumno a Del Río, al igual que años antes lo hubiera hecho con los hermanos Elhúyar.

Fausto, que por esas fechas estaba encargado de reorganizar la minería de los virreinos americanos, solicita al Rey la formación metalúrgica, en la Escuela de Minas de Schmnitz (Hungría), de algunos alumnos brillantes, para posteriormente destinarlos al Nuevo Mundo. Conseguido el real permiso, pasan a esta localidad Torres, Recarte y Del Río. Parece ser que al menos este último no se matricula, acudiendo a las clases de oyente.

En Schmnitz estudian Geometría Subterránea con Lempi y conocieron la obra de Delius. Asimismo tomaron lecciones de Química Analítica y Metalurgia con el mineralogista Ruprecht.

En el verano de 1790, el Marqués del Llano, embajador de España en Viena, propondría a A. von Ruprecht, por entonces Director de la Escuela de Schmnitz, que pasase a dirigir las minas y Academia de Almadén, pero parece ser que esto no llegó a cuajar.

A. M. del Río coincide en Schmnitz con el español L. Linde y se vuelve a encontrar con A. Humboldt, con el que acabaría labrando una gran amistad.

Desde Schmnitz retorna a París para asistir a las clases del sabio A.-L. LAVOISIER (1743-1794), en el Laboratorio del Arsenal. A este autor, discípulo de G. F. ROUELLE (1703-1770), y de J. E. GUETARD (1715-1786), se le considera como el padre de la Química moderna, al haber definido a la materia por su capacidad de ser pesada, así como por enunciar la ley de conservación de la masa y de los elementos. Asimismo describe los procesos de oxidación de los metales con el aire, de acuerdo a sus experiencias con el estaño en 1774, y con el mercurio en 1777. También determina la composición del aire, del agua y del gas carbónico. Establece que la combustión no dependía del «flogisto», sino del oxígeno, enfrentándose en ello a químicos de la talla de Priestley, Scheele y Cavendish. Desde 1768 trabajaba para la Hacienda Pública (Ferme Général du Royaume), lo que junto a su condición de diputado suplente en los Estados Generales le llevaría a que la Convención le condenara a muerte, siendo guillotinado en 1794.

Poco le dura la estancia a Del Río en París, aunque suponemos aprovecharía el tiempo, complementando su formación química, que luego dio tantos frutos. En 1791, debido a las turbulencias revolucionarias presentes, tuvo que huir

a Inglaterra disfrazado de aguador. En este país recorre diversas empresas mineras y metalúrgicas, principalmente en la zona de Cornwall. Dada su preparación se le propone trabajar en estas tierras, a lo que rehúsa.

4.2. EL REAL SEMINARIO DE MINERÍA DE MEXICO

En 1774, J. L. LASSAGA (.....-1786), industrial del ramo de la minería, y J. VELAZQUEZ (1732-1786), Catedrático de la Real y Pontificia Universidad, solicitan que se les permita fundar en México un Seminario o Colegio Metálico. En las Reales Ordenanzas de Minería de 1783 se vuelve a recoger la necesidad de crear dicho Centro. Tres años después fallecen estos eminentes mineros, con pocos días de diferencia, sin ver fructificada su idea.

Antes de su muerte, habían comunicado al Ministro de Indias J. GALVEZ (1729-1786) que se llevase a cabo la propuesta de CAVANILLES Y CENTI, A. J. (1745-1804), en la que se pedía la comisión de los hermanos Elhúyar para la mejora y beneficio de los minerales americanos. Así, por R. O. de 18 de julio de 1786 se designa a Fausto Elhúyar para cubrir el puesto de Director General de Minería de Nueva España, así como de su Tribunal General (en funcionamiento desde el 11 de agosto de 1777) y el de Profesor de Mineralogía, del pensado pero no creado Real Seminario.

Tras cumplir su periplo formativo europeo y organizar la expedición mineralógica sajona, Fausto abandona la Península, rumbo a México, el 15 de junio de 1788, llegando al puerto de Veracruz el 4 de agosto. Antes de partir ya barruntaba la puesta en marcha del Seminario de Minería, el hecho es que propone a un alumno de la primera promoción de Almadén, A. J. RODRIGUEZ (1756-1803), como Profesor de Matemáticas. Esta solicitud es posteriormente renovada desde México, llegando su nombramiento el 5 de marzo de 1790.

En septiembre toma Fausto posesión de su cargo, proponiendo al Real Tribunal de Minería, entre otras medidas, el *Plan del Colegio de Minería*, de fecha 12 de enero de 1789. En este proyecto se detallan los planes de estudio y demás necesidades para la creación de un centro escolar. La carrera mostraba una duración de seis años, cuatro teóricos, con prácticas en los tres últimos meses del tercer y cuarto cursos, y dos prácticos, que se desarrollarían en alguno de los reales establecimientos mineros próximos a la capital. Al final, tras superar las pruebas correspondientes, el Tribunal Superior de la Minería expediría el título. Todos los datos relativos a las asignaturas y demás información de tipo docente se pueden consultar en la obra de IZQUIERDO, J. J. (1953).

El Real Tribunal ya había adquirido, en 1778, un edificio en la calle Guatemala, junto al Hospicio de San Nicolás, por 31.000 pesos, pensando en su uso como Centro docente. En este lugar Fausto manda instalar poco después

unos hornos para ensayos metalúrgicos, ya que creía en un modelo de enseñanza eminentemente práctico y de aplicación.

Los preparativos para organizar el Seminario fueron intensos, existiendo numerosa documentación al respecto. Sin embargo las gestiones transcurrieron con lentitud, debido al esquema político burocrático y a las malas comunicaciones. La docencia se iniciaría, por fin, el 1 de enero de 1792.

Tras el fichaje de A. J. Rodríguez prosiguieron las contrataciones de profesorado, así por R. O. de 19 de diciembre de 1791 se nombra Profesor de Física a F. A. BATALLER (.....-1800), el cual impartía su docencia en el Real Colegio de San Isidro de Madrid. De igual forma, en 1792, bajo el influjo de Fausto Elhúyar, se designa a Del Río como Profesor de Química. Según LOPEZ AZCONA, J. M. (1964): *Renuncia Del Río a la Cátedra de Química por considerar que estaba mejor preparado para la de Mineralogía, recayendo la resolución de acuerdo con sus deseos, según le comunica Gardoqui en febrero de 1793. El puesto de Profesor de Química sería para F. CORDON (1792), siendo sustituido posteriormente por el compañero de Del Río en Schmnitz LUIS LINDER.*

Los locales adquiridos inicialmente para albergar las aulas y laboratorios del Real Seminario de Minería no cumplían las condiciones necesarias para tal fin. En 1791 hay una propuesta de Fausto para la adquisición de un solar y construcción posterior del edificio académico en la calle de Santa Teresa, esquina a Segunda del Indio Triste. Sin embargo se acabaría eligiendo otro emplazamiento, comprándose por 30.000 pesos un solar en la calle San Andrés. Las obras se iniciaron en 1797, según planos del arquitecto Manuel Tolsá. Dichas labores no finalizarían hasta 1813, aunque el traslado de profesores y alumnos fue algo anterior.

Una vez contratado como Profesor de Mineralogía para el Real Seminario de Minería de México, Del Río inicia el viaje hacia América con su criado el 2 de agosto de 1794, llegando al puerto de Veracruz el 20 de octubre. El 14 de noviembre recoge su instrumental científico, preparado con cuidado durante largo tiempo antes de la partida hacia Nueva España. Poco después, el 18 de diciembre, llega a la capital, aunque no inicia su labor docente hasta abril de 1795.

4.3. LOS ELEMENTOS DE ORITOGNOSIA. LA PENETRACION DE LAS PRIMERAS IDEAS WERNERIANAS EN ESPAÑA

Las primeras ideas wernerianas recogidas por un español parece ser que corresponden a Fausto Elhúyar. En 1786 este autor pasó a Francia, deteniéndose en Dijón, en la casa de L. B. GUYTON DE MORVEAU (1737-1816), con quien le unía una cierta amistad. Comentando la idea que

Werner no tenía intención de publicar una segunda edición de su obra, y ante las indicaciones de Guyton de Morveau para que esto se llevara a cabo necesariamente, Fausto le prometió que le enviaría todo el material manuscrito posible de las lecciones dadas por Werner después de la publicación de su libro, en 1774. Elhúyar estuvo en Centroeuropa, visitando Freiberg en octubre de 1786, y a su vuelta cumpliendo el compromiso adquirido, le remitió unos apuntes manuscritos, los cuales contenían una serie de correcciones y reseñas. Guyton de Morveau reorganizó el material constituyendo la obra *Traité des caractères extérieurs des fossiles*, publicada en Dijón en 1790. Este autor también traduciría del latín al francés la obra de BERGMAN, T. (1778) *Elementos físico-químicos del análisis general de las aguas*.

De igual forma, en base a apuntes manuscritos similares, correspondientes a su estancia en Freiberg, Juan José Elhúyar pudo escribir, a principios de los años noventa, la *Orygthologia*, comentada con anterioridad.

Asimismo, Andrés Manuel del Río, antes de partir hacia América, es requerido por FOUCROY, M. A. T. (1755-1809), para colaborar en el *Diario de los nuevos descubrimientos de todas las ciencias físicas, que tienen relación con las diferentes partes del arte de curar*. En 1793 aparece en el tercer tomo de esta obra un artículo bajo el título *De la importancia de las señales exteriores para conocer los fósiles*, donde se recogen los conocimientos relativos a este tema recopilados por el autor durante su estancia en Freiberg.

Posteriormente, en México, durante febrero de 1795, Fausto Elhúyar redacta un informe sobre la importancia de las teorías wernerianas, señalando la conveniencia que Del Río se dedicase a la traducción alemán-castellano de la obra de Werner. Como consecuencia de ello, Del Río, disponiendo de una gran información, fruto de sus amplios estudios, decide confeccionar unos completos apuntes para el desarrollo de sus funciones docentes. De esta forma escribiría *Elementos de Oritognosia o del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Werner para el uso del Real Seminario de Minería de México* (1795). Los primeros ejemplares salieron a la venta en enero de 1796. Recordemos que Humboldt dijo de esta obra que era la mejor publicación mineralógica de la literatura española. Asimismo Guyton de Morveau señaló que era la *mineralogía más notable de su tiempo en todas las lenguas*.

Empieza el texto situando el estado de los conocimientos mineralógicos, con la polémica abierta entre los defensores del sistema químico (Henckel, Pott, Justi, Cronsdtet y Bergman) y los del sistema característico (Linneo, Cartheuser, Gehler y Walch). Según Del Río, para clasificar los fósiles era preciso recurrir a los principios químicos, mientras que para conocer los que ya estaban clasificados bastaban sus caracteres exteriores. Como diría WIDEN-



Figura 16.—El Real Seminario de Minería de México, la más antigua Escuela de Ingeniería existente de América, fundada por el ingeniero de minas español Fausto Elhúyar en 1789, iniciándose la docencia en 1792.

MANN (1797): *La química debe mirarse como el supremo tribunal, autorizado para revisar nuestras clasificaciones.*

De todas formas, pese a los avances de la Química, había un criterio para mantener las clasificaciones basadas en los caracteres exteriores, ya que los defensores de éstas consideraban que para comunicar el conocimiento de un nuevo fósil bastaba con dar su composición, pero esto no servía para describirlo, para eso hacían falta datos relativos a su hábito y propiedades observables.

En esta obra se sigue una clasificación de los minerales según clases, familias, géneros, especies y variedades, añadiendo a veces secciones entre las familias y los géneros. Las clases consideradas son cuatro, según el esquema clásico de tierras, sales, sustancias combustibles y metales.

Esta clasificación, que hasta no hacía mucho se basaba en los caracteres externos, empezó a considerarse como de base química. Así tenemos que las distintas clases se definen de la forma siguiente: Las tierras serían sustancias que no muestran afinidad por el oxígeno (o arxicayo, como le llamaba Del Río siguiendo la terminología de Juan de Arejula). Las sales serían los compuestos de una sustancia simple oxigenada (arxicayada) con una base simple. Las sustancias combustibles serían las que tienen más o menos facilidad de quemarse, combinándose con el oxígeno, y sin mostrar aspecto metálico. Y por último, los metales se caracterizarían por su afinidad con el oxígeno,

así como por su aspecto metálico. Los géneros y especies se organizarían en función de la calidad y cantidad de sus partes constitutivas.

Según Del Río, no hay otro criterio de clasificación posible, ya que las sistemáticas basadas en los caracteres exteriores han traído consigo que se juntasen muchos fósiles que eran esencialmente distintos, a la par que se separaban algunos del mismo género porque mostraban apariencias dispares.

La diferencia de la *Oritognosia* de DEL RÍO respecto de las obras de WERNER y de J. J. ELHUYAR es que esquematiza el conjunto de propiedades observables en cuadros de fácil lectura, así como añade una lista ordenada del léxico científico usado en las tables. A continuación pasa a describir las especies de acuerdo con las propiedades antes expuestas: color, disposición de sus partículas, aspecto, untuosidad, temple, pesadez, olor y sabor. También enuncia la etimología de los fósiles, mostrando una cierta preocupación por las denominaciones empleadas, las cuales deberían ser *conformes al genio de la lengua*.

Llama la atención el poco desarrollo cristalográfico de la obra. Se emplea un concepto de *figura* (contorno de los fósiles) que supera al de cristal, y en el que se engloban los términos actuales de cristalización, hábito y fósil. Precisamente a los fósiles (en lenguaje de hoy en día) les llama *figuras extrañas* y no serían otra cosa que individuos o restos de los mismos, del reino animal o vegetal, con-

vertidos en sustancias minerales. Dentro de las *figuras regulares* o cristalizaciones considera sólo siete especies: icosaedro, dodecaedro, cubo, prisma, pirámide, tabla y lente. Extraña que no se use en la obra ningún carácter cristalográfico, al contrario que ocurre en el manuscrito de J. J. Elhúyar.

También queremos reseñar que no sólo se estudian los minerales, sino que también se tienen en cuenta las rocas monominerales, ya que en este tratado sólo se consideran las sustancias de *sencillez mecánica*, dejando las partes de la corteza resultantes de mezclas de fósiles para la Geognosia. Pese a ello incluye al basalto, las lavas y la piedra pómez en la clase de las tierras y las piedras, familia de la alúmina.

Respecto al origen del basalto, considera una génesis neptunista. J. L. GIRAUD SOULAVIE (1725-1813) había encontrado agua en el interior de estas rocas (tal vez generada por la descomposición de las zeolitas), por lo que según DEL RIO: *En vista de esto ya nadie disputa si se debe su formación al fuego o al agua, y más cuando en las montañas de Neptuno, en Sicilia, alterna en capas con caliza compacta.*

Por otro lado, da por supuesto que las lavas y la piedra pómez tienen un origen volcánico. Pero DEL RIO cambia posteriormente de criterio, ya que en *Descripción de una piedra perlada*, artículo publicado en el tomo VI, núm. 18, de los *Anales de Ciencias Naturales* (1803), tras aportar diversos argumentos sobre el origen sedimentario de las piedras perladas y espumosas, indica: *Si a pesar de lo dicho, los que tienen ocasión de examinar volcanes, me convencieron de que la pómez es volcánica, cederé con gusto, pues lo que me interesa es la verdad.*

Asimismo mantiene la idea werneriana del origen por precipitación de las sustancias útiles, indicando que las rocas volcánicas *no interesan al minero, sino todas las demás que deben su origen al agua.*

A finales del XVIII, en 1778, otro discípulo de Werner, llamado CHRISTIAN HERRGEN (1760-1816), viene a la Península contratado como profesor del Real Seminario de Vergara. El 15 de octubre de 1796 pasa al Gabinete de Historia Natural como recolector de minerales, a propuesta de su Director José Clavijo Fajardo, sustituyendo a Juan de Palafox Rovira. Estando en este destino, en 1797, traduce del inglés la *Oritognosia* de WIDENMANN, J. F. G., obra basada en las teorías de su maestro.

Según pone de manifiesto en el aviso del traductor, DEL RIO se le adelantaría en la publicación de la primera *Oritognosia* editada en castellano: *Mi traducción estaba ya adelantada cuando supe que D. Andrés del Río que había estudiado la Mineralogía bajo la dirección de Werner en Freiberg... había conocido como yo, que en este país faltaba un cuerpo sistemático de doctrina para servir de base a la enseñanza de esta ciencia. El primer tomo*

TABLAS MINERALOGICAS DISPUESTAS

SEGUN LOS DESCUBRIMIENTOS MAS RECIENTES
É ILUSTRADAS CON NOTAS
POR D. L. G. KARSTEN

Consejero de Minas del Rey de Prusia, Profesor de Mineralogía, e Inspector del Real Gabinete, Socio y Correspondiente de muchas Academias.

TERCERA EDICION ALEMANA DE 1800

TRADUCIDA AL CASTELLANO

PARA EL USO DEL REAL SEMINARIO DE MINERÍA

POR DON ANDRES MANUEL DEL RIO.



CON SUPERIOR PERMISO.

Impresas en México: por Don Mariano Joseph de Zúñiga y Oniveros, calle del Espíritu Santo Año de 1804.

Figura 17.—Tablas mineralógicas de Karsten, traducidas por DEL RIO.

que publicó a este fin pocos años ha, en América, me hizo ver que animados ambos de un mismo celo, seguimos los mismos principios mineralógicos

Esta obra se parece a la DEL RIO en la organización por tablas, escaso desarrollo de la cristalografía (hay una lámina donde se representan las, para el autor, ocho distintas formas cristalinas, bajo la denominación de *figuras primitivas*) y por la división de los fósiles en cuatro clases. Se diferencia en el poco interés que le produce la Química, ya que *la mayor parte de los fósiles no se han examinado todavía con exactitud; y aún a la análisis química más rigurosa se ha ocultado todavía una u otra de las partes constitutivas.* Para este profesor, al igual que pensaba Werner, un sistema mineralógico basado sólo en la química o en los caracteres exteriores quedaría bastante descabado. DEL RIO, sin embargo, se deja llevar algo más por el sistema químico, sin menospreciar las clasificaciones basadas en los caracteres exteriores.

Este autor mete en el mismo paquete a los minerales (fósiles simples) y a las rocas (fósiles compuestos). Respecto a estas últimas distingue, al igual que DEL RIO, las rocas formadas en el seno de las aguas de las rocas procedentes de las erupciones volcánicas, aunque para ambos autores los basaltos se generan en procesos de precipitación química.

Como consecuencia de las actividades de HERRGEN, entre las que pensamos está la traducción de la obra de WIDENMANN, se le nombra Profesor de Mineralogía, en 1789, en la recién creada Escuela de Mineralogía de Indias (junto con el Laboratorio Químico Metalúrgico). Ya en este puesto, traduciría las *Memorias sobre los progresos y utilidad del estudio mineralógico* (1797) del barón SCHÜTZ (publicadas en 1801) y el *Ensayo del sistema nuevo de Mineralogía* (1800), de BRUNNER, J. (publicado en 1804). Asimismo son frecuentes sus artículos en los *Anales de Ciencias Naturales* (1799-1804).

En esta época hay un gran desarrollo de las ciencias, iniciando a partir de la creación del Real Seminario de Vergara, en 1773. Para desarrollar la labor docente, en dicha Institución, se contrataría a PROUST, L. (1755-1826), como profesor de Química, y a CHABANEAU, F. (1754-1852), como profesor de Física. Este último vino a España en junio de 1777. Poco después, en 1790, se nombra Director de la Escuela de Mineralogía de Indias al sacerdote DONATO GARCIA FERNANDEZ y se contrata como profesor de la misma a CHABANEAU. Dicho autor edita ese mismo año los *Elementos de Ciencias Naturales*, obra de la que sólo se llegaría a publicar un tomo. En ella se habla de los caracteres atribuibles al principio térreo y de las sustancias que aparecen mezcladas o combinadas con las tierras. Seguidamente se pasa a describir los fósiles, los cuales se dividen en dos clases: combustibles e incombustibles. Termina el tomo con otras ideas cosmogónicas y de elementos de Física.

4.4. LADOR DOCENTE, INVESTIGADORA Y TECNICA DE ANDRES MANUEL DEL RIO, EL DESCUBRIDOR DEL WOLFRAMIO

La labor docente de ANDRES MANUEL DEL RIO, era de tres horas semanales, quedando el resto del tiempo para preparar las colecciones, organizar el laboratorio, desarrollar la investigación, confeccionar sus publicaciones e incluso actuar de cara a la industria privada en diversos temas de ingeniería.

Según indica LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1964), cuando DEL RIO llega al Real Seminario de la Minería de México le agrada ver los hornos semiindustriales y las instalaciones metalúrgicas en sus patios, pero al penetrar en las aulas se encuentra con una carencia casi absoluta de material de laboratorio, instalado en una destartada cochera, y buenas muestras de minerales, principalmente argentíferas y plumbíferas.

Poco a poco el Centro se fue dotando de equipamientos y los gabinetes se poblaron de muestras. En 1790 Fausto solicita una colección de minerales a España, la cual nunca llegaría. DEL RIO tiene que empezar sus prácticas de Oritognosia y para ello debe recurrir a las muestras mineralógicas que un amigo suyo, el Doctor MARTIN SESE Y LACASTA (1751-1808), había comprado al miembro de la expedición Mineralogista FEDERICO SONNESCHMIDT. Cuando Sesé se plantea volver a España, Del Río solicita al Seminario la compra de la colección por 500 pesos. Este autor considera que el único medio para conocer los cuerpos era la observación, llegando a indicar en su *Oritognosia* (1795) que *quien quiera leer las descripciones de la obra sin tener delante los fósiles correspondientes, sacará tan poco fruto como de un tratado de Geometría sin figuras.* DEL RIO siempre pensó en crear una gran colección que le serviría de introducción para la confección de una *Geografía mineral del Reyno.*

Organizadas las clases teóricas y prácticas, así como el libro de texto, los alumnos van superando los objetivos propuestos por el maestro. A finales de curso los discípulos próximos a graduarse deben participar en unas disertaciones, similares a las que se desarrollaban en los tiempos en que Del Río era estudiante de la Universidad Complutense. El profesor pronuncia una lección magistral y los alumnos seleccionados mantienen un coloquio. La primera de estas sesiones se realizaría en noviembre de 1796, luego se sucedieron otras, más o menos periódicamente. En los contenidos de los temas elegidos, tal y como podemos comprobar en la *Gaceta de México* y en los *Anales de Ciencias Naturales*, se refleja una clara influencia werneriana. Recogemos a continuación los títulos de algunas de estas conferencias: *Relaciones existentes entre la composición de un mineral y las materias que en un criadero le sirven de acompañantes, Los volcanes, impugnación de la teoría dominante sobre el origen volcánico de algunas rocas, Discurso sobre los volcanes, Discurso de las vetas*, etc., observando que coinciden casi siempre con materiales claves en la formación minera que se impartía en la Escuela de Freiberg y cómo nuestro autor se decanta, en muchos casos, por las tesis neptunistas. Lo expuesto en estas charlas es de suma importancia para conocer el pensamiento científico de Del Río.

En 1801, en el laboratorio del Centro, descubre Del Río el elemento número 23, el vanadio. Le habían traído un ejemplar de vanadinita de la mina de la Purísima, en Zimapán, encontrando que poseía el 80,72 por 100 de óxido amarillo de plomo y el 14,86 por 100 de un óxido desconocido, también tenía algo de arsénico y óxido de hierro. A esta nueva parte constitutiva la llamaría *pancromo*, por la universalidad de los coloridos en sus productos. Aunque con posterioridad cambiaría esta denominación por la de *eritronio*, ya que las sales de dicho elemento se ponen rojas al fuego y mediante el ataque ácido.

El 26 de septiembre de 1802 comunica el hallazgo a

Cabanilles, el cual informa a Ramón de la Quadra. Este aprovecha la publicación de un artículo en los *Anales de Ciencias Naturales*, t. VI, núm. 16 (1803), con el título *Tabla comparativa de todas las sustancias metálicas, para poderlas distinguir fácilmente, por medio de sus caracteres exteriores, en caso de que presenten cierta semejanza en su fisonomía*. En esta obra se enumeran las peculiaridades de 24 géneros metálicos, en donde se indica que el pancromo es una nueva sustancia mineral anunciada por D. Manuel del Río.

En 1803 llega a México su amigo y compañero de estudios en Sajonia y Hungría ALEJANDRO von HUMBOLDT (1769-1859). Enseguida quedaría prendado de las actividades del Real Seminario de la Minería y así lo reconoce en el *Ensayo político del Reyno de Nueva España* (1841). En esta obra indica que es el Centro científico más importante de toda Hispanoamérica. Asimismo describe las peculiaridades de la Institución: *La Escuela de Minas tiene un laboratorio químico, una colección geológica clasi-*

ficada según el sistema de Werner y un gabinete de Física, en el cual se hallan preciosos instrumentos de SESE RAMSDEN (1735-1800), ADAMS RENOUS y LOUIS BERTHOUD y modelos ejecutados en México con la mayor exactitud y con las mejores maderas del país.

El barón von HUMBOLDT, tras realizar estudios, de 1787 a 1789, en las Universidades de Franfort y Göttingen, pasa a cursar la carrera de ingeniero de minas en Freiberg y en Schmnitz. En 1796, decide organizar una serie de viajes por Europa con su antiguo compañero de clase, el barón de Buch. Poco después, en 1797, opta por trasladarse a España. Por el camino, en la pensión de París que le cobija, conoce al botánico AIME BONPLAND (1773-1858), con quien trabaría amistad por tener las mismas ideas políticas, las mismas tendencias científicas y la misma ansia de viajar. Ambos se dirigieron a la Península Ibérica, visitando la Meseta Central, Andalucía y las Islas Canarias. En 1799, a través del embajador de Sajonia, Philippe Von Forrell, conocen al Ministro Mariano Luis de Urquijo, al que cuentan su interés por organizar una expedición científica a las Américas. Este les presenta al Rey, Carlos IV, el cual les da toda clase de facilidades. Partieron de La Coruña, el 5 de junio, a bordo de la fragata «Pizarro» y tras tortuoso viaje llegaron a Cumaná, en Venezuela. Recorrieron todo este país visitando las Bocas del Orinoco, la ciudad de Caracas, donde se entrevistaron con Mutis, los Llanos, el Chimborazo y otros lugares. Llegarían a México en 1803, en cuyo territorio permanecieron hasta 1804. Fruto de estos viajes, donde se recogen las medidas y observaciones sistemáticas de las distintas manifestaciones de la Naturaleza, son los 30 volúmenes del *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente, realizado de 1799 a 1804* (1805-1832). El método de trabajo basado en la observación y toma de datos en distintas estaciones, comparando valores y contenidos, es una norma, como ya hemos visto, de los discípulos de Werner. Fruto de estas aplicaciones, hoy en día se considera a Humboldt como el padre de la Climatología, la Oceanografía y la Geobotánica.

Respecto al método científico inductivo, DEL RIO y demás alumnos de Freiberg lo consideran de necesaria aplicación. Para este autor, tal y como indica en el *Discurso de las vetas* (1800), es necesario observar la Naturaleza, indicando que *Tanto importa conocer las excepciones como las reglas generales, y hay excepciones que examinadas con todas sus circunstancias llegarán a ser generales, quitándoles la contradicción aparente que ahora se nota, porque la naturaleza no se contradice jamás.*

En México, DEL RIO expone con presteza a Humboldt el hallazgo del pancromo. Este enviaría el 25 de julio de 1803, muestras del mineral de Zimapán al Instituto Nacional de Francia, para su análisis. Asimismo adjunta una carta señalando el descubrimiento, por parte de su compañero, de una sustancia metálica muy diferente al cromo y al uranio, de la cual ya hemos hablado al ciudadano Cha-

pal (1). Pero parece ser que el arca en que se remiten las muestras se pierde en un temporal.

En 1804, DEL RIO publica el hallazgo del pancromo en su traducción, con añadidos, de las tablas Karsten.

Al año siguiente, Humboldt vuelve a París, llevando al químico COLLET-DESCOTILS, H. V. (1773-1818), una nueva muestra de Zimapán. Pero los análisis dan negativos, señalando éste que el mineral era un subcromato de plomo.

En 1830 el sueco Nils Gabriel Sefeström redescubre en las minas de hierro de Taberg el mismo elemento, denominándolo vanadio, en honor a Vanadis que era una antigua divinidad escandinava. Este hecho hizo que DEL RIO, por entonces exiliado en Philadelphia, EE. UU., con motivo de la expulsión de los españoles tras la revolución mexicana, se enfadase con Humboldt, a quien consideraba que no mostró el interés suficiente por sus experimentos.

De 1805 a 1829, Humboldt estuvo en París, preparando sus obras y organizando nuevas excursiones. Fue a la Isla de Elba, al Vesubio y a otros lugares de Italia, con L. Buch y con Gaylussac, con quien había enunciado, en 1805, la ley volumétrica de las combinaciones químicas de los gases (de esta excursión y de las anteriores se conservan donaciones de minerales en el Museo Nacional de Ciencias Naturales). También visita Alemania con el astrónomo ARAGO, D. F. J. (1785-1853) (este autor solicitaría, en 1843, a MEULIN, T., la traducción al francés de los *Principles of Geology* de LYELL, CH. (1797-1875)). En 1929 recibe el encargo dado por Nicolás II de Rusia de realizar una expedición a los Urales, Zuhagaria y el Mar Caspio, hacia donde parte con ROSE, G., y EHREMBERG. A la vuelta de su excursión asiática conoce el hallazgo de SEFSTRÖM, N. G., y rápidamente escribe a BERZELIUS, J. J. y a WOECHLER, enviándoles a cada uno un fragmento del mineral que le había dado DEL RIO.

Berzelius reconoció el mineral de Zimapán como auténtica vena de vanadio, señalando que el descubrimiento de dicho elemento correspondía a DEL RIO. Posteriormente este autor se retractaría y pediría disculpa pública por todo lo dicho sobre Humboldt.

Aparte del hallazgo del eritronio o vanadio, hay que considerar el descubrimiento de nueve especies minerales nuevas. Dos de ellas la chovella y la valencianita, fueron bautizadas en honor de sus alumnos Casimiro Chovel y Vicente Valencia, ajusticiados en 1810 con motivo de la revuelta del cura Hidalgo en Zacatecas.

La actividad docente e investigadora ocupaba buena parte del tiempo de DEL RIO, sin embargo aún le quedaban horas para el desarrollo de trabajos técnicos. Según LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1964): *Las actividades más destacadas como ingeniero fueron: desagüe de las Minas del Real del Monte y Morán, fundación de la ferretería de Coal-*

(1) CHAPTAL, J. A. (Nojalet, 1756-París, 1832).

coman, los informes sobre las vetas de cinabrio de Guanajuato, la Dirección de la Casa de la Moneda, el estudio del criadero de hierro de Atlisco, el informe de la fábrica de porcelana de Puebla.

5. LA MINERALOGIA ESPAÑOLA EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX. PERSISTENCIA DE LA POLEMICA ENTRE PLUTONISTAS Y NEPTUNISTAS

De las numerosas publicaciones de DEL RIO sólo nos hemos centrado en el análisis de las más importantes, ya que de esta labor se pueden extraer numerosos datos sobre los cambios acontecidos en el pensamiento científico mineralógico.

Este autor, en 1804, traduce la tercera edición (de 1800) de las *Tablas mineralógicas dispuestas según los descubrimientos más recientes e ilustrados con notas* (1798), de KARSTEN, D. L. G.

Tenemos dos tablas, la primera (hasta la página 73) comprende la clasificación de los minerales y la segunda se centra en las rocas. Al final aparece un apéndice con los nuevos minerales descritos por el abad HAÜY, R.-J. (1743-1878).

En las tablas, los minerales aparecen descritos según columnas, en las que se señalan las clases, familias, géneros, especies, criaderos americanos y análisis químico. KARSTEN, en vez de señalar yacimientos, consideraba en dicha columna los nombres de los autores que habían realizado el análisis de cada una de las especies fósiles. En la parte inferior de cada hoja se añaden las notas aclaratorias pertinentes.

Se aprecia entonces cómo el ordenamiento de los minerales se articula según la parte constitutiva o dominante (sistemática química), desechando una clasificación basada en la parte característica (sistemática físico-morfológica), que según indica DEL RIO: *No podía en el día servir más que de inducir a error.*

En este abandono de la sistemática werneriana (que sabemos sólo fue parcial, ya que seguía con la descripción de los caracteres externos) pensamos que el hecho de principal influencia es la lectura, por parte de DEL RIO, del *Traité de Mineralogie* (1801), de HAÜY. Este último, exfoliando minerales, pudo observar cómo los ángulos que formaban los cruceros permanecían constantes en cada especie mineral, lo que le llevaría a la conclusión que éstas estarían constituidas por diminutas unidades, a las que puso el nombre de *moléculas integrantes*. La adición o apilamiento regular de estas moléculas nos permitiría obtener las distintas morfologías cristalinas de cada especie mineral. Para DEL RIO la forma y situación de las moléculas integrantes, así como la composición química de las mismas, condicionaría la figura de los minerales. En definitiva nos está dando una idea avanzada, los carac-

TABLA DE LAS FORMACIONES.	
SECCION SUPERIOR O CONGLOMERADA.	SECCION INFERIOR O IMPERMEABLE.
COLUMNA GEOLOGICA Y ESTADO PRESENTE DE LA NATURALEZA.	
Formación	Piezas
Orden terreno...	Tercero superior ó plioceno. <i>Nuevo y antiguo.</i>
	Tercero medio ó mioceno.
	Tercero inferior ó eoceno.
Grupo de la creta, que falta en los Estados Unidos.	Creta superior con pedernales.
	Creta inferior.
	Creta margosa.
Grupo debajo de la creta.	Arena verde superior.
	Gault.
	Arena verde inferior.
Grupo de arcilla de bosques, que falta también en los Estados Unidos.	Arcilla de bosques.
	Arena de Hastings.
	Caliza de Purbeck.
	Oolita de Portland.
	Arcilla de Künmeridge. } <i>Jura superior.</i>
	Caliza de corales. } <i>Jura superior.</i>
	Arcilla de Oxford. } <i>Jura medio.</i>
Serie Oolítica, que no se halla en los Estados Unidos, pero parece haberse hallado ahora.	Cornbrasi.
	Mármol de bosques.
	Arcilla de Bradford.
	Grandoolita ó oolita de Bath. } <i>Jura inferior.</i>
	Tierra de basen.
	Oolita inferior.
	Lias.
Grupo de areniscas abigarradas, que no se halla en los Estados Unidos.	Marga roja ó Keuper.
	Caliza de conchas.
	Arenisca abigarrada.
	Piedra del alfe.
	Conglomerado rojo de Exeter.
Grupo del carbón.	Carbon bituminoso.
	Arenisca de molinos y arcilla apizarrada.
	Caliza carbonosa.
	Arenisca anfigua.
	Rocas de Ludlow.
	Caliza de Wenlock y arcilla apizarrada.
	Capas de Caradoc.
	Losas de Llando.
Sistema Silúrico.	Cámbrico superior.
	Cámbrico medio.
	Cámbrico inferior.
Sistema Cámbrico.	Serpentina.
	Roca verde.
	Pizarras talcosas.
	Rocas de hornblenda.
	Caliza primitiva.
	Micapizarra.
	Gneis.
	Granito.

Figura 18.—Columna litocronoestratigráfica (Andrés Manuel del Río, 1841).

terres externos son un reflejo de la constitución y composición interna de los minerales. Como diría el autor: *¿Qué más se requiere para que tengamos en la Oritognosia géneros tan constantes como en la Zoología o en la Botánica?*

El otro factor que pensamos vino a influir en el cambio de mentalidad de DEL RIO es sin duda el impulso acontecido en los conocimientos químicos, durante los últimos años: avanzaron las técnicas analíticas, se descubrieron nuevos elementos, así como nuevos minerales, y se revisaron los datos antiguos, comprobando la calidad de los mismos. En estos campos es fundamental recordar la edición de la obra de KLAPROTH, M. H. (1743-1817) *Beitrâgen zur chemischen kenntniss der Mineralkorper*, en dos tomos (1795-1797). Como señala KARSTEN, D. L. G. (1797): *Con la reforma de Werner precedió todavía mucho tiempo un conocimiento exacto de los fósiles al examen de sus partes constitutivas. La penetración de este gran hombre descubrió en ellos el principio característico, del que se hicieron varias aplicaciones útiles. Pero ahora que pasados veinte años la Química Analítica da muchos y muy seguros datos a la Oritognosia, debe ésta recibirlos con conocimiento y aprovecharse de ellos, corregir por los mismos la idea de las partes características y aun si fuera necesario renunciarla, más bien que anteponer a hechos fixos e innegables un auxilio vacilante y dudoso, a que se apeló en tiempo de necesidad.*

En la parte geognóstica vino a colaborar Humboldt, apareciendo las modificaciones introducidas en el texto, por el barón, en letra bastardilla.

No quisiéramos acabar el comentario de esta obra sin señalar que en ella no se emplean los vocablos mina, mine o minerai para designar a los metales o a las menas metálicas, tal y como se hace en otras publicaciones oritognósticas. Aquí se usa la palabra metal, tal y como aparece en los trabajos de BARBA, GAMBOA y otros grandes científicos hispanos. Según DEL RIO, esto se debe a que *nuestros mineros sin disputa tienen más derecho que todos los extranjeros.*

En el siglo XIX, DEL RIO se acoge a la sistemática química de BERZELIUS, J. J., siguiendo con las ordenadas descripciones wernerianas de las especies. Así, en 1831, publica en Philadelphia los *Elementos de Oritognosia o del conocimiento de los fósiles, según el sistema de Berzelio y según los principios de Abraham Góttob Werner, con la sinonimia inglesa, alemana y francesa*. Poco después, tras volver (en 1835) de su exilio norteamericano, publica en México los *Elementos de Oritognosia o sea Mineralogía o del conocimiento de los fósiles, según el sistema del barón Berzelio y según los principios de Abraham Góttob Werner. Para uso del Real Seminario de la Minería*. Llama la atención la equiparación de Oritognosia y Mineralogía, recordemos que no hacía mucho la segunda era una parte de la primera.

Con la independencia de las colonias, muchos de nuestros

científicos mineros retornan a Europa. Uno de ellos es Fausto Elhúyar, el cual participaría activamente en la reorganización de la minería española, incluido su docencia (tal y como se aprecia en el R. D. de 4 de julio de 1825). Las Cátedras de Almadén quedaron bajo la supervisión del Director General de Minas, puesto para el que había sido designado Fausto. Con la nueva estructura docente y las progresivas mejoras que se fueron introduciendo se poblaron las aulas, siendo esta la época en que la Academia daría sus más brillantes frutos.

Los alumnos más aventajados eran remitidos a Freiberg para complementar su formación. En 1828 se decide el pase a la Escuela de Minas sajona de GOMEZ PARDO, L., y SAINZ DE BARANDA, I. De igual forma, al año siguiente se seleccionan con idéntico destino a AMAR DE LA TORRE, R., y BAUZA, F., así como al ingeniero ayudante de caminos EZQUERRA DEL BAYO, J. De este grupo de élite salieron los encargados de reorganizar el Cuerpo de Ingenieros de Minas (1833), la Escuela Especial de Minas (1835) y algunos de nuestros mejores ingenieros-geólogos del siglo XIX.



Figura 19.—Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859), ingeniero de minas-geólogo, autor del primer Mapa Geológico de Síntesis de España en 1850, y del primer tratado de Laboreo de Minas en 1839.

En 1834 la Dirección General de Minas y la Junta Consultiva del Cuerpo deciden el traslado de las enseñanzas mineras desde Almadén a Madrid. Poco después, por Real Decreto, de 23 de abril de 1835, firmado por el Ministro del Interior MEDRANO, D., se manda que se haga efectivo el acuerdo anterior. La Escuela se inauguraría el 7 de enero de 1836.

El día 3 de mayo de 1835 se nombra a los tres profesores de la Escuela: AMAR DE LA TORRE, R., de Mineralogía, Geognosia y Prácticas de Campo; EZQUERRA DEL BAYO, J., de Mecánica Aplicada y Laboreo, y GOMEZ PARDO, L., de Docimasia y Metalurgia. La carrera consta de cinco años, cursándose los dos últimos en establecimientos mineros.

En 1790 el geólogo escocés Sir JAMES HALL (1761-1832) (de igual nombre que el americano padre de la teoría del geosinclinal) observa cómo una masa de vidrio que había sido enfriada lentamente llega a cristalizar. Posteriormente comprueba cómo un fragmento de vidrio desvitrificado y vuelto a fundir tras un enfriamiento rápido volvería a dar vidrio. HALL había acudido al Vesubio, formando parte de la expedición de DOLOMIEU, D. G. (1750-1801), y conocía el carácter vítreo de las lavas. Conjugando esta experiencia con la anterior, se dedicaría a realizar ensayos de fusión y solidificación de rocas volcánicas.

Estas investigaciones animaron a otros científicos. Así, poco después, MITSCHERLICH, E. (1794-1863) llega a formar cristales de feldespato y de mica, fundiendo los elementos componentes.

También KARSTEN, en 1834, encontraría cristales de feldespato, bien conformados, en las paredes de un horno de la región de Hartz, en que se fundía una mena de cobre de ganga pizarrosa.

Con estos y otros casos se apuntalaron las teorías de los defensores de un origen ígneo de las rocas cristalinas, las cuales se habrían formado debido al calor reinante en el interior de la tierra. Muchos autores, en sus tratados, sólo consideraban los procesos mecánicos de erosión-transporte-sedimentación para describir la formación de las capas de los terrenos estratificados. La situación era tal que DEL RIO llega a señalar en el *Manual de Geología*. Extracto de la *Lethaea Geognóstica de Bronn, con los animales y vegetales perdidos, ó que no existen, más característicos de cada roca y con algunas aplicaciones a los criaderos de esta República* (1841): *Antes era absoluto Neptuno, ahora quiere ser Vulcano, más ya no es tiempo de absolutismos ni en ciencias ni en gobiernos.*

Llama la atención en la obra antes mencionada el uso de la palabra Geología. Parece ser que la paternidad de este término se la debemos a SAUSSURE, H. B., según se aprecia en *Voyage dans les Alpes* (1779-1796). Poco después LYELL, CH. (1797-1849) escribe los *Principles of Geology* (1830-1834), obra considerada como el primer tratado universal sobre esta ciencia. Ese mismo año nace

la primera Cátedra de Geología, en la Universidad parisiense de la Sorbona, siendo cubierta por PREVOST, C.

En España, bajo la influencia de la obra de LYELL, algunos autores empiezan a emplear la palabra Geología, entendida ésta como la ciencia dedicada al estudio de la tierra. Por ejemplo, EZQUERRA DEL BAYO, J. (1793-1859), en su obra *Geognosia. Sobre los terrenos terciarios de España* (1937) señala que *En mis viajes por el extranjero como pensionado del Gobierno, he tomado alguna afición al estudio de la geognosia y la geología...*

Mientras que en Europa, sobre todo en Francia e Inglaterra, geología y geognosia, a principios del siglo XIX, alcanzaban el mismo significado. Para algunos autores, tal es el caso de AMAR DE LA TORRE, R. (1802-1874), según deducimos de sus apuntes manuscritos de *Geognosia* (1845), que se conservan en la Biblioteca de Geología de la Escuela, ambos términos son cosas distintas: Geognosia significa «conocimiento de la tierra» y Geología «doctrina o teoría acerca de la tierra», por lo tanto el primer término corresponde a lo conocido, a lo actual, mientras que el segundo se refiere a lo hipotético, a los acontecimientos del pasado. De todas formas, las palabras geognosia y geología empiezan pronto a diferenciarse, quedando la primera (como ciencia dedicada al estudio de las rocas) englobada en la segunda. Es curioso señalar cómo EZQUERRA DEL BAYO escribe poco después *Elementos de laboreo de minas, precedidos de algunas nociones sobre geognosia y la descripción de varios criaderos de minerales, tanto de España como de otros sitios de Europa* (1839) y cómo, en 1851, cambia el título anterior por el de *Elementos de laboreo de minas, precedidos de algunas nociones sobre geología, con aplicación al mejor conocimiento de los terrenos que pueden ser objeto de investigaciones mineras.*

Según MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871), la primera obra original de Geología General en tierras hispanas se la debemos al militar e ingeniero de Minas LUJAN Y MIGUEL ROMERO, F. de (1793-1857); son las *Lecciones de Geología* (1841) impartidas en la Sociedad de Instrucción Pública. Como ya mencionamos, ese mismo año se edita el *Manual de Geología* de DEL RIO.

Por aquellas fechas DEL RIO contaba con la edad de 77 años, siendo muy difícil que cambiara ya sus postulados de toda la vida, acoplando los nuevos conocimientos a sus ideas.

WERNER suponía que el granito procedía de la precipitación química en el seno de un líquido de carácter ácido, cuyo poder de disolución era mayor que el del agua. Desde Munich, FUCHS demuestra a través de sus experimentos que para llevar a cabo la cristalización no hace falta que las sustancias estén disueltas, sino que este proceso se puede producir a partir de una masa pastosa. DEL RIO se acoge a lo expuesto por este último autor, desechando las tesis vulcanistas: *...nadie ha formado por el fuego una mezcla parecida al granito, ni será tácil por lo infusible*

del cuarzo y lo fusible del feldespato y la mica, tan revueltos unos con otros que no se puede dudar de su origen secundario, además que ni en el granito, ni en las otras rocas (de su grupo) se ha visto nada de vidrioso, como debía esperarse del fuego. Asimismo se manifiesta en contra de la fusión inicial de los materiales de la tierra ya que: No pueden existir juntos la siliza y el carbonato de cal, sin que se pierda su ácido, lo mismo digo de los silicatos aluminosos, como feldespato, mica, etc. Supuesto esto, si todo se fundió junto, yo preguntaría si conforme a las leyes químicas pudo existir el carbonato de cal sin convertirse en silicato, y entonces apenas habría quedado un átomo de cuarzo ni de caliza en el reino mineral; mas como éstos abundan y escasea el silicato de cal... se sigue que no pudo haber estado fundida la caliza, sino que adquirió la estructura cristalina por otro medio, y cual si no fué que por el agua?

Para DEL RIO, en el paso del estado pastoso a cristales de forma regular se produce un gran desprendimiento de calor y si la cristalización se desarrolla de forma rápida se puede llegar a la rusentación (fusión), lo que podría ser la causa de los volcanes. También considera como posible causa de la génesis de estos últimos a la acción de masas eléctricas de fuego bajadas del cielo.

En cambio LUJAN considera una génesis ígnea para las primeras rocas de la tierra, desde la perspectiva del ingeniero de minas CORDIER, P. L. A. (1777-1861), autor de la *Clasificación metódica de las rocas* (1830), dada en el curso de Geología del Jardín Botánico de París. Debido al enfriamiento de la superficie se formarían los distintos minerales de la corteza. El ataque de los agentes exteriores generaría las masas de sedimentos. El poder calorífico del interior de la tierra sería la causa de la formación de los volcanes, cuyas manifestaciones cortan al resto de los terrenos. En definitiva recoge la idea dada por BUCH que: *un volcán es un canal aún permanente, o la comunicación entre el interior y el exterior de la tierra.*

De todas formas, para todos los autores de la época las primeras rocas que se formaron fueron los granitos y similares, depositándose con posterioridad las rocas estratificadas.

LUJAN opta por una clasificación de los terrenos muy parecida a la elaborada por WERNER.

- Terreno volcánico o plutónico (cortante del resto).
 - Terreno Cuaternario (o de formación actual).
 - Terrenos Terciarios (que van desde la creta al diluvium).
 - Terrenos Secundarios (desde la arenisca roja antigua hasta la creta).
- a) Cretáceo.
 - b) Jurásico.
 - c) Lías (Muriatífero).
 - d) Arenisca Nueva Roja.
 - e) Carbonífero.
 - f) Arenisca Vieja Roja.

- Terrenos de Transición (o Grupo de la Grauwacka).
 - Terrenos primitivos o ígneos (formados antes de la estratificación y carentes de restos orgánicos).
- a) Hojosos.
 - b) Cristalinos.

DEL RIO, en cambio, no adopta la sistemática werneriana para clasificar los terrenos. Se deja influir y está al día en cuanto a las más recientes aportaciones de los autores europeos, tal y como recogemos a continuación:

- A) División superior u orgánica.
- Orden tercero.
- a) Tercero superior o Pliocene.
 - b) Tercero medio o Miocene.
 - c) Tercero inferior o Eocene.
- Grupo de la creta.
 - Grupo debajo de la creta.
- a) Arena verde superior.
 - b) Gault.
 - c) Arena verde inferior.
- Grupo de la arcilla de los bosques
- a) Arcilla de los bosques.
 - b) Arena de Hasting.
 - c) Caliza de Púrbeck.
- Serie oolítica.
- | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|
| a) Oolita de Portland. | } | Jurásico Superior. |
| b) Arcilla de Kimmeridge | | |
| c) Caliza de corales. | | |
| d) Arcilla de Oxford. | | |
| e) Córnbrash. | } | Jurásico Medio. |
| f) Mármol de los bosques. | | |
| b) Arcilla de Bradford. | | |
| h) Oolita grande o de Bath. | | |
| i) Tierra de Batán. | } | Jurásico Inferior. |
| j) Oolita inferior. | | |
| k) Lías. | | |
- Grupo de arenisca abigarrada.
- a) Marga roja o Keuper.
 - b) Caliza de conchas.
 - c) Arenisca abigarrada.
 - d) Piedra del alto.
 - e) Conglomerado rojo de Exeter.
- Grupo del carbón.
 -
- Arenisca antigua.
- Sistema Silurio.
- a) Rocas de Lúdlow.
 - b) Caliza de Wénlock y arcilla apizarrada.

- c) Capas de Caradoc.
 - d) Losas de Llandeilo.
- Sistema Cambrio.

B) División inferior u inorgánica.

Pensamos que en esta obra se emplean por primera vez en territorio hispano la denominación de algunos Sistemas: Silurio y Cambrio.

En 1847, EZQUERRA DEL BAYO, en su traducción de los *Elementos de Geología* de LYELL (1844), emplearía los términos Cambriano y Siluriano, apoyándose en su corrección lingüística (equivalente, p. e., a la del término «castellano», también gentilicio que da nombre al propio idioma) y la deseable universalidad del lenguaje científico (de Cambrian y Silurian).

Respecto al origen de las montañas, las ideas de la época eran bastante confusas. Hasta 1859 no tenemos las primeras aportaciones sobre la teoría del geosinclinal, organizadas por HALL, J.; DANA, J. D., y HAUGH, E.

Anteriormente, HUMBOLDT suponía en su *Ensayo geognóstico sobre la situación de las rocas* y en sus obras americanas, sin una experiencia precisa, que las capas seguían la misma dirección en todas las localidades. Otro discípulo de WERNER, SAUSSURE, se dedica a medir direcciones e inclinaciones de las capas, tratando de establecer relaciones entre los plegamientos y las revoluciones que los causaron. Un compañero de los anteriores, el barón de BUCH, relaciona la elevación de las montañas con el volcanismo. Estas últimas ideas son recogidas por EZQUERRA DEL BAYO en la *Geognosia* de sus *Elementos de Labores de Minas* (1839), y en otras de sus obras, al considerar que las montañas se forman debido a las presiones provocadas por la inyección de las masas ígneas, mientras que el hueco dejado en la surgencia de éstas puede generar terremotos y hundimientos. Sin embargo hasta los estudios de ELIE DE BEAUMONT no se señala que al menos parte de las montañas se generan por fenómenos de aplastamiento.

LYELL, LUJAN, DEL RIO y demás autores de la época recogen las aportaciones de BEAUMONT en contra del paralelismo de las montañas. LUJAN, por ejemplo, señala que hay muchas direcciones en las capas de la tierra, las cuales habría que poner en relación con otros tantos levantamientos o hundimientos de montañas. Sin embargo, tal y como se puede apreciar, persiste en la idea de BUCH que la acumulación de sustancias volcánicas es la causa del levantamiento de las montañas.

LUJAN también adopta las teorías de BEAUMONT, E., y SEDGWICK, A., por las cuales en la tierra se observan seis grandes conmociones o trastornos de las capas existentes.

A mediados del siglo XIX, pese al respeto que se tenía a la obra de WERNER, ya nadie sustentaba sus ideas. En

1845, en su *Geognosia*, AMAR DE LA TORRE se decanta por la escuela plutonista, por ser la que más ha prevalecido conforme al estudio de la Física y de la Química. Según este autor: *Abraham Teófilo Werner fue el 1.º que enseñó a observar la composición y construcción del edificio terrestre y descubrió las relaciones recíprocas de las masas que lo componen... Desgraciadamente las teorías que presentó Werner para explicar los fenómenos que con tanta sagacidad había observado, no están conformes con el estado actual de la ciencia.* Dos años después, en 1847, EZQUERRA DEL BAYO tradujo al castellano los *Elements of Geology* (1844), de LYELL, Ch., y no los *Principles of Geology*, como suele citarse. La gran difusión de esta obra, tal vez supuso el fin de la influencia werneriana en los ingenieros y naturalistas españoles.

El *Manual de Geología* de DEL RIO prácticamente no llegó a España, siendo según MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871), muy difícil de encontrar (pese a que había un ejemplar en la Escuela Especial de Minas, que no sabemos en qué fecha fue adquirido). Las *Lecciones de Geología* de LUJAN suponemos que tampoco gozaron de gran difusión. En 1845, AMAR DE LA TORRE, al dar la bibliografía geognóstica para el curso y para cuando termine éste, señala que *en español no hay ninguna obra.* A partir de mediados de siglo esta situación cambiaría paulatinamente.

Tras la resaca plutonista vino la normalidad y se empezó a admitir la precipitación química como posible causa en la formación de algunas rocas. CASIANO DE PRADO (1797-1866), en la *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid* (1864), considera que en la génesis del granito interviene el fuego y posiblemente el agua.

SOLE SABARIS, L., escribió en 1981: *Todavía está por descifrar la influencia de la escuela de Werner en la Geología española.* Esperamos con este artículo haber contribuido en algo a ello.

AGRADECIMIENTO

Damos las gracias a las personas, enumeradas a continuación, que nos han facilitado ayuda en la investigación bibliográfica necesaria para la preparación de este artículo: Dña. Pilar San Pío (Jardín Botánico); D. Antonio Canseco, D. Julián Vega, D. David Gil y D. Trinidad Torres (E.T.S.I. Minas), así como al Excmo. Sr. D. Juan Manuel López de Azcona (Dr. Ingeniero de Minas).

BIBLIOGRAFIA

ALIA, M. (1990): *Aspectos históricos de la Geotectónica. In Historia de la Geología.* Real Acad. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.

ALONSO BARBA, A. (1640): *El arte de los metales, en el que se enseña el verdadero beneficio del oro y la plata por azogue, el modo de fundirlos y cómo se han de refinar y apartar unos de otros.* (ed. de 1770). Imp. de la Viuda de Manuel Fdez.

AMAR DE LA TORRE, E. (1845): *Geognosia*. Lecciones manuscritas de Geognosia explicadas en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas. Madrid (inéd.).

AMOROS, J. L. (1964): *Notas sobre la historia de la Cristalografía y la Mineralogía V. La Mineralogía española en 1800: La «Oritognosia» de Andrés del Río.* Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 62, 199-220.

ARNAIZ Y FREG, A. (1962): *Don Andrés del Río, descubridor del eritronio (vanadio).* Min. y Metalurg., 21, 63-100.

AYALA, F. J. (1986): *Tecnología y Sociedad en la Primera Revolución Industrial.* Industria Minera. Madrid.

BARGALLO, M. (1955): *La Minería y la Metalurgia en la América española durante la época colonial.* Ed. Fondo de Cultura Económica. México.

BAUER, G. (AGRICOLA) (1546): *De natura fossilium.* Trad. al inglés por BANDY, M. C., y BANDY, J. L., en 1955. Geol. Paper, 63. Ed. Geol. Soc. of America. Nueva York.

BAUER, G. (AGRICOLA) (1556). *De Re Metallica.* Basileae. Trad. al inglés por HOWER, H. C., y HOWER, L. H. Ed. Dover. Nueva York.

BERGMAN, T. D. (...): *Manuel du mineralogiste sciagraphe du regne mineral d'apres l'analyse chimique.* Trad. al francés por MONGEE en 1792. París.

BERGMAN, T. D. (...): *Meditations de la systématique fossilium natural.*

BERZELIUS, J. J. (1819): *Nouveau système de Mineralogie.* París.

BOWLES, W. (1775): *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España.* Imp. Real. Madrid.

BRUNNER, J. (1800): *Ensayo de un sistema nuevo de Mineralogía.* Leipsic. Trad. al español por HERRGEN, C., An. de Cienc. Nat. (1804): t. VII, 21, 219-322. Madrid.

BUCH, L. von (1809): *On volcanos and Craters of Elevation.* Edinburgh New Phil. Jour, vol. XXI, p. 206, U. K.

BUFFON (Conde de) (1749-1788): *Histoire Naturelle général et particulière.* 36 tomos. París. Trad. al español por CLAVIJO Y FAJARDO, J., entre 1749 y 1805. Madrid.

BURNET, T. (1681): *Telluris theoria sacra...* London.

CANSECO, A. (1989): *Comentarios a varios textos de la biblioteca histórica.* Ed. E.T.S.I. Minas. Madrid.

CAPEL, H. (1985): *La física sagrada.* Ed. del Serbal. Barcelona.

CAYCEDO, B. (1971): *J. D'Elhúyar y el siglo XVIII neogranadino.* Bogotá.

CORDIER, P. L. (1830): *Clasificación metódica de las rocas.* Curso de Geología del Jardín Botánico. París.

CRONSTDET, A. (1758). *Forsok til. eller Mineral Rikets Upställning.*

CHABANEAU, F. (1790): *Elementos de Ciencias Naturales.* T. I. Madrid.

CHARPENTIER (1778): *Mineral Geographie der Chursächsischen Lande.* Leipzig.

DEL BARCO, M. (Edic. 1989): *Historia Natural de la Antigua California.* Crónica de América, 53. Historia-16. Madrid. 317 pp.

DEL RIO, A. M. (1795): *Elementos de Oritognosia o del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Werner, para el uso del Real Seminario de la Minería de México.* Imp. Zúñiga y Ontiveros. México.

DEL RIO, A. M. (1799): *Discurso sobre los volcanes.* An. Cienc. Nat. (1800), t. II, 6, 335-348. Madrid.

DEL RIO, A. M. (1802-1804): *Discurso sobre las vetas.* A. Cienc. Nat. (1802), t. V, 13, 25-37 y (1804), t. VII, 19, 30-48. Madrid.

DEL RIO, A. M. (1803): *Descripción de una Piedra perlada.* An. Cienc. Nat., t. VI, 18, 363-367.

DEL RIO, A. M. (1831): *Elementos de Oritognosia o del conocimiento de los fósiles según el sistema de Berzelio, y según los principios de Abraham Góttob Werner, con la sinonimia inglesa, alemana y francesa.* Imp. J. F. Hurtel. Philadelphia.

DEL RIO, A. M. (1841): *Manual de Geología, extracto de la Lethaea Geognóstica de Bronn, con los animales y vegetales perdidos o que no existen más característicos de cada roca y con algunas aplicaciones a los criaderos de esta República.* Imp. I. Cumplido, México.

DEL RIO, A. M. (1845): *Elementos de Oritognosia o sea Mineralogía o del conocimiento de los fósiles, según el sistema del barón Berzelio y según los principios de Abraham Góttob Werner.* Para uso del Seminario Nacional de la Minería. Imp. I. Cumplido. México.

DOLOMIEU, D. (1781): *Voyage aux isles Lipari.* París.

DOLOMIEU, D. (1791): *Mémoire sur les pierres composées et sur les roches, Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts.* Vol. 39, pp. 374-407.

ELHUYAR, F., y ELHUYAR, J. J. (1785): *Mémoire sur la nature du Volfram, a c'elle d'une nouveau métal qui entre dans sa composition.* R. Ac. Sc., Inscript. et Bell. Art. de Toulouse.

ELHUYAR, J. J. (comienzos de los 90 en el s. XVIII): *Orythologia.* Nueva Granada. Papeles de MUTIS, C., Archiv. R. Jardín Botánico. Div. III.6.1.23. Madrid. Muy probable.

EZQUERRA DEL BAYO, J. (1837): *Geognosia. Sobre las formaciones terciarias del Centro de España.* Periódico: El Español, 619-622, del 9 al 16 de julio de 1837. Madrid.

EZQUERRA DEL BAYO, J. (1839): *Elementos de laboreo de minas, precedidos de algunas nociones sobre geognosia y la descripción de varios criaderos minerales, tanto en España como en otros reinos de Europa.* Imp. Salvador Albert. Madrid.

EZQUERRA DEL BAYO, J. (1851): *Elementos de laboreo de minas, con algunas nociones sobre geología, con aplicación al mejor conocimiento de los terrenos que pueden ser objeto de las investigaciones mineras.* Imp. de la Viuda de Antonio Yenesa. Madrid.

FAUL, H., y FAUL, C. (1983): *It began with a stone. A History of Geology.* Wiley and Sons. USA.

FEIJOO, B. J. (1733). *Teatro Crítico Universal.* T. IV, Imp. Joaquín Ibarra.

FERBER (1789): *Briefe Mineralogischen Junnhaltens an der Freiherrn von Rackniz.* Berlín.

FOUCROY, M. A. T. (1793): *Diario de los nuevos descubrimientos de todas las ciencias físicas, que tienen relación con las diferentes partes del arte de curar.* V. III. Imp. de Sancha. Madrid.

GERHARD, C. (1773): *Beyträge zur Chemie und Geshichte des Mineral-Reichs.* Berlín.

GUETTARD, J.-E. (1751): *Mémoire et carte minéralogique sur la nature et la situation des terrains qui traversent la France et l'Angleterre.* Mém. Acad. Roy. Sci. Paris (1746), pp. 363-392.

GMELIN (1780): *Grundis der Mineralogie.* Göttingen.

GUYTON DE MORVEAU, L. B. (1790). *Traité des caractères extérieurs des fossiles.* Dijon.

HALL, Sir J. (1800): *Experiments upon Whinstone and Lava.* Nicholson's Jour. Nat. Phil. Chem. Arts, vol. 4, pp. 8-18, 56-65.

HALLAM, A. (1983): *Great Geological Controversies.* Oxford Univ. Press. U. K. Trad. en Labor.

HARKER, A. (1909): *The Natural History of igneous rocks.* Ed. McMillan. Nueva York.

HAÜY, R. J. (1784): *Essai d'une théorie sur l'estructure des cristaux.* París.

HAÜY, R. J. (1801): *Traité de Mineralogie.* 5 vols. París. Reed. por Ed. Culture et Civilisation en 1968. Bruselas.

HENCKEL, J. F. (...): *Kies Historie.* Leipzig.

HOYOS, M., A. (1990): *Historia de la Mineralogía.* In *Historia de la Geología.* Real Acad. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.

HUMBOLDT, A. VON (1805-1832): *Viaje a las regiones equinociales del Nuevo Continente, realizado de 1799 a 1804.* 5 vols. Imp. Casa Rosa (ed. 1826). París.

HUMBOLDT, A. VON (1841): *Ensayo político del Reino de Nueva España.* 2 vols. Trad. al español por OLIVE, P. M., en 1818. Imptas. Núñez e Ibarra.

HUTTON, J. (1788): *Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe.* Trans. Royal Soc. Edinburgh. Vol. 1, pp. 209-304.

HUTTON, J. (1799): *Theory of the Earth with proofs and illustrations.* 2 vols. Reed. Ed. Engelman & Co. en 1959. Londres.

IZQUIERDO, J. J. (1958): *La primera casa de las ciencias en México. El Real Seminario de la Minería (1792-1811).* Ed. Ciencia. México.

KARSTEN, D. L. G. (1792): *Dersen Vorede zur Tabelarischen Übersicht der Mineralogisch ein fachen Fosilien.* Trad. al español de la 3.ª ed. por DEL RIO, A. M., en 1800. México.

KLAPROTH (1795-1797): *Beiträgen zur kenntniss der Mineralkörper.* 2 vols.

KIRWAN, R. (1784): *Elements of Mineralogy.* Londres.

KIRWAN, R. (1783): *Examination of the Supposed Igneous Origin of Stony Substances.* Trans. Royal Irish Acad., vol. 5, pp. 51-81.

KIRCHER, R. (1665): *Mundus Subterraneus.*

LABORDE, M. (1975): *La minería en los Anales de Ciencias Naturales (1799-1804).* Est. Geol., V. XXXI, 815-830. Dic. 75.

LEIBNIZ, G. (1680). *Petrogea.*

LINNAEUS, C. (1768): *Systema natural.* Holminae.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1964): *Biografía de Andrés Manuel del Río y Fernández (1764-1849).* Bol. Inf. Inst. Ing. Civiles de España. Año XII, 71, 60-71.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1964): *Biografía de D. Andrés Manuel del Río y Fernández.* Bol. Inf. Cons. Sup. de Col. de Ing. de Minas, año VII, 64, 9-10.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1975): *La enseñanza de la minería en el mundo hispánico.* Not. Hist., 199 pp. Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1979): *La enseñanza de la minería en el mundo hispánico. Notas históricas.* Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1983): *Los hermanos Elhúyar, descubridores del wolframio, 1782-83.* Ed. Fción. Gómez Pardo. Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1985): *Semblanza de los hermanos Elhúyar.* Bicentenario del descubrimiento del wolframio por los hermanos Elhúyar, 1783-1793, 8-30. Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1990): *La Minería Hispana. Datos históricos.* In *Historia de la Geología.* Real Acad. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M.; GONZALEZ CASASNOVAS, I., y RUIZ DE CASTAÑEDA, E. (1992): *Minería Iberoamericana. Repertorio bibliográfico y biográfico.* 4 vols. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

LOPEZ DE AZCONA, J. M., y MESEGUER PARDO, J. (1961): *Contribución a la historia de la Geología y Minería españolas.* Not. y Com. del I.G.M.E. Madrid.

LYELL, CH. (1830-1834): *Principles of Geology.* Londres. Trad. al francés por MEULIN, T., en 1843. París.

LYELL, CH (1844): *Elementos de Geología.* Trad. al español por EZQUERRA DEL BAYO, J., en 1847. Imp. de Antonio Yenesa. Madrid.

MAFFEI, E. (1877): *Centenario de la Escuela de Minas de España 1777-1787.* Ed. Esc. de Minas. Madrid.

- MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871): *Apuntes para una biblioteca española*. Reed. en 1970, VI Congr. Int. de Minería, Cát. de S. Isidro. León.
- MITSCHERLICH, A. (1896): *Gesammelte schriften von Elhard Mitscherlich*. Berlín.
- MONREAL, M., y UGARTE, M. O. (1991): *La enseñanza en la Escuela de Minas de Almadén*. Simp. Agustín de Bantancourt, 14 pp. Zaragoza.
- PEDRINACI, E. (1992): *El concepto de tiempo geológico: una perspectiva histórica*. III Congr. Geol. de España. Salamanca.
- PELAYO, F. (1992): *Ensayos sobre los métodos de beneficio de amalgamación y fundición realizados por Juan José Elhúyar y José Celestino Mutis en Nueva Granada*. In *La Minería en Nueva Granada. Notas históricas. 1500-1810*. Publ. espec. del Bol. Geol. y Minero. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- PLAYFAIR, J. (1802): *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Cadell & Davies. Edinburgh, U. K.
- PRADO, C. (1864): *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Madrid.
- PRIETO, C. (1968): *La minería en el Nuevo Mundo*. (3.ª ed. de 1977). Ed. Bicentenario de la Escuela de Minas. Rev. de Occidente. Madrid.
- PUCHE, O., y MATA, J. M. (1992): *La enseñanza de la Mineralogía y Petrología, con especial atención a las Escuelas de Minas*. Ind. Minera, 315, 21-37.
- QUADRA, R. DE LA (1803): *Tabla comparativa de todas las sustancias metálicas, para poderlas distinguir fácilmente por medio de sus caracteres exteriores, en caso que presenten cierta semejanza en su fisonomía*. An. Cienc. Nat., t. VI, 16, 1-46. Madrid.
- RAMIREZ, S. (1890). *Datos para la historia del Colegio de la Minería*. México.
- RAMIREZ, S. (1890): *Biografía del Sr. D. Andrés Manuel del Río*. Bol. Soc. Mexicana de Geol. y Estad.
- RAMIREZ, M.ª D.; LOPEZ, P., y DIEGUEZ, C. (1992): *El Real Gabinete de Historia Natural (1771-1815). Una visión ilustrada*. Museo Nac. de Ciencias Nat. Madrid.
- ROME DE L'ISLE, J. B. L. (1772): *Cristallographie ou description des formes propres a tous les corps du règne minéral*. 4 vols. París.
- ROMEU DE ARMAS (1989): *La Real Escuela de Mineralogía de Madrid (1789-1808)*. Ind. Minera, 287, 7-18. Marzo 89.
- ROUELLE, H. M. (1774): *Tableau de l'analyse Chimique*. París.
- ROUELLE, H. M. (1774): *Opuscles physiques et chimiques*. París.
- RYDEN, S. (1954): *D. Juan José Elhúyar en Suecia y el descubrimiento del tungsteno*. Ed. Insula. Madrid.
- SAN PEDRO QUEREJETA, S. (1964): *Algunos comentarios acerca de la personalidad del investigador D. Manuel Andrés del Río*. Bol. Inf. Cons. Sup. de Col. de Ing. de Minas. Año VII, 64, 4-6.
- SAUSSURE, H. B. (1779-1796): *Voyage dans les Alpes*. París.
- SCOPOLI (...): *Enleitung zur kenntniss und Gebruch der fossilien*.
- SCHÄFFERS (1757): *Kalkartiges Bergmetal*. Leipzig.
- SCHEUZER, J. J. (1732): *Physique Sacrée, ou Histoire Naturelle de la Bible*. Ed. Schen, K. P., y Mortier, P. Amsterdam.
- SCHÜTZ, BARON DE (1797): *Memorias sobre el progreso y utilidad del sistema mineralógico*. Trad. al español por HERRGEN, C., en 180...., An. de Cienc. Nat., t. III, 209-230. Madrid.
- SEQUEIROS, L. (1992): *Las ideas sobre los fósiles del jesuita Del Barco*. III Congr. Geol. de España. Salamanca.
- SOLE SABARIS, L. (1975): *Los primeros geólogos catalanes*. Est. Geol., t. XXI, 831-836.
- SOLE SABARIS, L. (1981): *Raíces de la Geología española*. Mundo Científico, 9, v. I, 1018-1032.
- STENO, N. (1669): *De solido intra solidvm naturaliter contento dissertationis prodromus*. Florence.
- STORR, C. (1777): *Curso de Mineralogía y Geometría Subterránea*. Almadén. (ined. y extraviado).
- STRZODKA y WACHTLER (1799): *La fundación de la Academia de Minas de Freiberg en el año 1765*. II Centenario de la Escuela de Minas de Madrid, 143-152. Ed. E.T.S.I. Minas. Madrid.
- TEOFRASTO DE EFESO (...): *The lapidabus*.
- TORRUBIA, J. (1754): *Aparato para la Historia Natural de España*. Imp. Herederos de D. Agustín Godejuela y Sierra. Madrid.
- WALLERIUS, I. (1768): *De systematibus mineralogicis et systemate mineralogico rite condensado*. Holmiae.
- WERNER, A. G. (1774): *Von der äusserlichen kennzeichen der fossilien*. Leipzig Crusius.
- WERNER, A. G. (1787): *Breve descripción y clasificación de las diversas rocas*. Dresde.
- WERNER, A. G. (1797): *Nouvelle théorie de la formation des filons*. Trad. al francés por Dabuisson en 1802. París.
- WIDENMANN, J. F. G. (...): *Oritognosia*. Trad. al castellano por Herrgen, C., en 1797. Madrid.